

UNIVERSITE DE NANCY I

THESE

LA MECANIQUE DES TERRAINS DANS LES COUCHES PUISSANTES DES CHARBONNAGES

Présentée

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGENIEUR

par

J.P. PIQUET

Ingénieur des Mines

Soutenue

le 7 Décembre 1974 devant la Commission d'examen

MM. CHAMBON

Président

CLERMONTET

Examineurs

VETTER

de LA GARANDERIE

Invités

ADAM

UNIVERSITE DE NANCY I

THESE

LA MECANIQUE DES TERRAINS DANS LES COUCHES PUISSANTES DES CHARBONNAGES

Présentée

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGENIEUR

par

J.P. PIGUET

Ingénieur des Mines

Soutenue

le 7 Décembre 1974 devant la Commission d'examen

MM. CHAMBON

Président

CLERMONTET

Examineurs

VETTER

de LA GARANDERIE

Invités

ADAM



AVANT-PROPOS

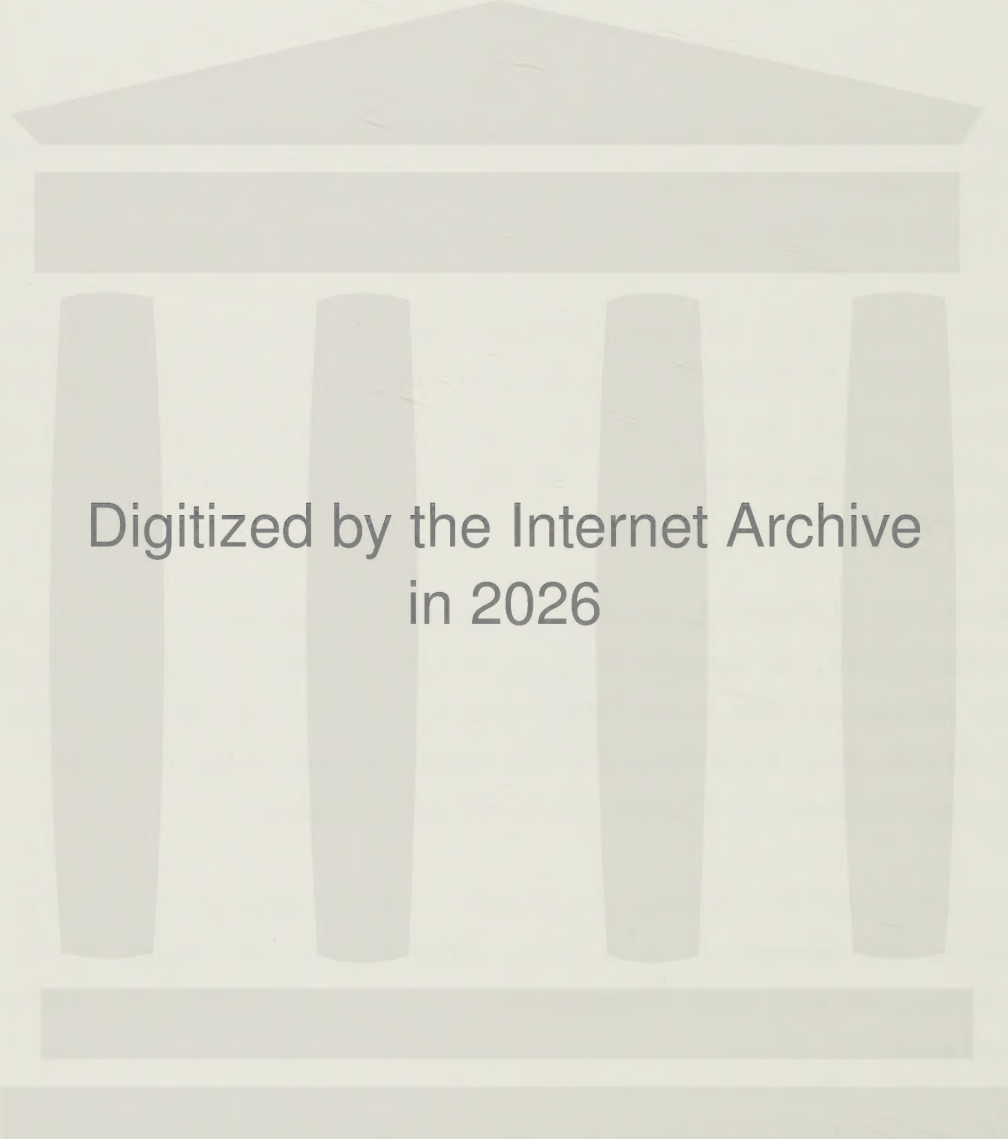
Cette étude a été menée dans le cadre du laboratoire de Mécanique des Terrains à l'Ecole des Mines de Nancy. Elle a bénéficié de l'aide financière de la Communauté Européenne Charbon Acier (CECA).

Nous remercions vivement Monsieur CHAMBON, directeur de l'Ecole Nationale Supérieure de la Métallurgie et de l'Industrie des Mines, qui a dirigé nos recherches et nous a fait bénéficier de son expérience et de ses conseils. Il nous a fait l'honneur de présider le jury.

Monsieur CLERMONTET, Maître-Assistant à l'Université de Nancy I, a manifesté, en acceptant de participer à notre jury, la volonté de poursuivre les relations fructueuses établies par ses prédécesseurs avec le laboratoire de Mécanique des Terrains. Nous sommes heureux de l'associer à nos remerciements.

Monsieur VETTER, docteur ès Sciences et géologue au CERCHAR, a suivi constamment et avec grand intérêt tous nos travaux de recherche et nous nous réjouissons de sa présence parmi les examinateurs.

Monsieur ADAM, Ingénieur aux services techniques des Charbonnages de France s'est également intéressé de très près à nos études et à leurs développements dans les techniques d'exploitation des couches puissantes. C'est avec grand plaisir que nous le remercions d'avoir accepté de participer à notre jury.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547402_0031

Monsieur de La GARANDERIE, directeur général adjoint des Houillères des bassins du Centre Midi, nous a permis de mener à bien toutes nos expérimentations dans ses exploitations. Il a bien voulu nous honorer de sa présence et nous lui exprimons toute notre gratitude.

Il nous est également agréable de remercier Monsieur DELANNOY, Directeur du CERCHAR, qui nous a confié ce travail et nous a fourni tous les moyens nécessaires pour l'exécuter dans les meilleures conditions possibles.

Nous tenons aussi à exprimer nos vifs remerciements à tous les directeurs, ingénieurs et techniciens des bassins où nous avons effectué nos expérimentations. Ils nous ont toujours et partout accueilli avec patience et dévouement malgré les difficultés supplémentaires que notre présence pouvait leur imposer.

Nous mentionnerons plus particulièrement Monsieur BENECH, Chef du siège de Rozelay, qui a manifesté un très grand intérêt pour nos études et dont l'aide nous a été précieuse et Monsieur LAROSE, responsable des mesures du siège Darcy, qui a accompli avec son équipe, une tâche considérable dans des conditions spécialement difficiles.

C'est de grand coeur enfin que nous remercions tous nos camarades du laboratoire de Mécanique des Terrains : Monsieur RAFFOIX responsable du laboratoire, Messieurs DEJEAN et JOSIEN qui se sont dépensés sans compter pour nous guider et nous assister dans notre travail, Mesdames MILONET et RICCIARELLI qui ont assuré la frappe du texte, Madame SCHENCK et Mademoiselle ALVAREZ qui ont réalisé les figures, Madame BILLIG et Mademoiselle DUMONT qui ont travaillé au traitement informatique de nos mesures, enfin tous les chercheurs du laboratoire qui nous ont entouré de leur amitié.

**LA MECANIQUE DES TERRAINS
DANS LES COUCHES PUISSANTES
DES CHARBONNAGES**

PLAN GENERAL DE LA THESE

INTRODUCTION : POSITION DU PROBLEME

CHAPITRE I : L'EXPLOITATION DES COUCHES PUISSANTES

- 1) Les différentes méthodes d'exploitation. Evolution historique
- 2) Le soutirage
- 3) Conclusion : les problèmes de mouvements de terrains

CHAPITRE II : RAPPEL DE QUELQUES RESULTATS ANTERIEURS

- 1) Résultats connus en couches minces
- 2) Expérimentations antérieures en couches puissantes
- 3) Conclusion

CHAPITRE III : LES MESURES

- 1) Le cadre expérimental
- 2) Mesures de mouvements de terrains
- 3) Autres mesures

CHAPITRE IV : MECANISME DE DEFORMATIONS DANS LES VOIES DES COUCHES PUISSANTES

- 1) Introduction et observations expérimentales
- 2) Etude du régime permanent
- 3) Etude de l'ensemble du comportement
- 4) Conclusion

CHAPITRE V : CONSEQUENCES ET APPLICATIONS DU MECANISME ELEMENTAIRE

- 1) Rôle de l'environnement immédiat de la galerie
- 2) Rôle des anciennes exploitations voisines
- 3) Le soutènement, l'entretien et le problème de la limitation des mouvements.

- 4) Influence des facteurs naturels
- 5) Conclusion et conséquences.

CHAPITRE VI : MECANISME DE DEFORMATION DANS LES TAILLES A SOUTIRAGE

- 1) Présentation des campagnes de mesures des résultats
- 2) Front de soutirage et front de dépilage
- 3) Comportement du charbon autour de la Taille
- 4) Déplacements d'ensemble autour de la taille
- 5) Mouvements des épontes
- 6) Conclusion

CHAPITRE VII : APPLICATIONS DU MECANISME ET INFLUENCE DE FACTEURS EN TAILLE

- 1) Influence de quelques facteurs
- 2) Application aux conditions d'exploitation

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES D'AVENIR

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION : POSITION DU PROBLEME

- 1) Définition
- 2) Importance des couches puissantes
- 3) Difficultés liées aux couches puissantes

PLAN DU CHAPITRE I

L'EXPLOITATION DES COUCHES PUISSANTES

I - LES DIFFERENTES METHODES D'EXPLOITATION - EVOLUTION HISTORIQUE

- 1) Les tranches horizontales
- 2) Les tranches inclinées

II - LE SOUTIRAGE

- 1) Le soutirage en plateaux
- 2) Le soutirage dans le cas de pendage $> 40^\circ$

III - CONCLUSION

Les problèmes de mouvements de terrains

INTRODUCTION

INTRODUCTION : POSITION DU PROBLEME

1) Définition

Dans les Charbonnages, on classe habituellement dans la catégorie des couches puissantes toutes les couches dont l'épaisseur est supérieure ou égale à 3 m, quelle que soit leur inclinaison.

Cette épaisseur dépasse rarement une trentaine de mètres. La limite de 3 m correspond à des impératifs d'exploitation ; en effet, les méthodes usuelles des "couches minces" qu'il s'agisse des longues tailles ou des chambres et piliers sont surtout adaptées pour des chantiers dont la hauteur n'excède pas 2,50 m à 3 m. Au-delà de ce seuil, il convient de définir de nouvelles techniques que nous aurons l'occasion de décrire dans ce paragraphe. (1)

2) Importance des couches puissantes

A l'heure actuelle, de nombreux gisements, tant en France qu'à l'étranger, possèdent des veines dont la puissance répond à cette définition.

En France, on les trouve principalement dans le Bassin du Centre Midi (houillères d'Aquitaine, d'Auvergne, de Blanzky, des Cévennes, du Dauphiné, de la Loire...) et aussi dans les dressants du Bassin de Lorraine.

(1) On trouve une bonne illustration du fait que la limite entre les couches dites puissantes et les couches dites minces dépend de la méthode d'exploitation, dans le cas des dressants. La méthode appliquée, par exemple aux houillères de Lorraine est applicable dans les veines jusqu'à 4,50 m de puissance.

Leur exploitation fournit environ 25 % de la production totale de ces dernières années (soit une dizaine de millions de tonnes par an). Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de la production suivant l'ouverture et les pendages des veines.

Ouverture	Pendage			Total	Produc. M.T.	Production totale nationale	Année
	0-20°	20 à 45°	45°				
3 à 4 m	1,5%	2,7 %	5 %	9,2 %	4	43,5 M.T.	1968
> 4 m	8,1%	1,7 %	4,7%	14,5 %	6,3		
3 à 4 m	1,1%	2,7 %	6,3%	10,1 %	3,9	38,8 M.T.	1970
> 4 m	8,8%	2,4 %	5 %	16,3 %	6,3		
3 à 4 m	0,6%	2,2%	6,5%	9,3 %	3,2	34,6 M.T.	1971
> 4 m	6,4%	3,9%	5,3%	15,6 %	5,4		

Les réserves sont estimées à 1000 millions de tonnes dont les 2/3 environ dans les couches inclinées à plus de 20°.

A l'étranger, les couches puissantes sont également largement exploitées.

En U.R.S.S., sur une production de l'ordre de 500 MT, plus de 10 %, soit environ 60 MT, provient de couches puissantes (les plateures à eux seuls représentant plus de la moitié de ce chiffre).

Citons également parmi les pays intéressés à ce problème, la Tchécoslovaquie, la Yougoslavie, la Roumanie, l'Inde, le Japon.

Aux U.S.A., on estimait, il y a quelques années que 25 % des réserves de combustibles minéraux solides étaient composées de couches épaisses (notamment dans l'Utah, le Colorado, le Wyoming).

La mise en exploitation des couches épaisses est également appelée à un développement important au Canada (Colombie Britannique, Alberta) ainsi qu'en Australie (Queensland).

Ce type de gisements fournit donc d'ores et déjà une part non négligeable de la production mondiale, part qui semble devoir augmenter.

3) Difficultés liées aux couches puissantes

Malgré son intérêt économique potentiel évident, l'exploitation des couches puissantes a longtemps été freinée par les difficultés de tous ordres qu'elle suscite :

L'importance des quantités de charbon concentrées dans ces gisements implique des risques de grisou ainsi que des menaces d'incendie par l'effet des apports d'oxygène et de l'échauffement, dus aux travaux.

D'autre part, l'empoussièrage est considérable et affecte la salubrité des chantiers.

Enfin, les mouvements de terrains sont toujours considérables. Ils sont liés en particulier à l'importance des vides créés par l'exploitation et à la hauteur des ouvrages qui posent des problèmes de stabilité des parements et du soutènement.

Notre travail a porté précisément sur l'étude des déformations subies par les chantiers en couches puissantes des charbonnages français. Avant de définir les objectifs plus précis, nous allons évoquer rapidement l'évolution historique des principales techniques d'exploitation. Nous insisterons sur les principes qui ont présidé à leur mise au point, sur les problèmes qu'elles soulèvent et sur leurs transformations qui ont abouti aux méthodes actuelles.

Nous fournirons ensuite des indications sur la méthode expérimentale et sur l'état des connaissances antérieures pour aborder enfin l'exposé des résultats.

L'EXPLOITATION DES COUCHES PUISSANTES

I - LES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'EXPLOITATION : ÉVOLUTION HISTORIQUE

Pour situer les méthodes actuelles d'exploitation des couches puissantes, il faut en connaître tout le développement historique. Celui-ci a été conditionné par les difficultés constamment rencontrées, celles qui tiennent à la mécanique des terrains étant parmi les plus contraignantes.

Ainsi, pour mieux maîtriser la stabilité des chantiers et se ramener à des techniques d'exploitation familières, la première idée a-t-elle été de découper les couches puissantes en tranches. Ces dernières ont la plupart du temps une épaisseur de 2,50 m à 3 m.

D'autre part, le souci de limiter les effets des pressions de terrains a conduit à choisir de préférence un ordre de dépilage des tranches dirigé du haut vers le bas (tranches descendantes). Ceci permet de détendre les terrains et diminuer la charge sur les tranches inférieures, ce qui facilite leur exploitation. On distingue deux grandes catégories : la méthode des tranches horizontales et celle des tranches inclinées.

I) Les tranches horizontales

L'horizontalité des tranches présente des avantages certains d'un point de vue technique. Elle permet de s'adapter sans pertes de gisement aux cas les plus divers et les plus difficiles (couches très irrégulières, amas etc...).

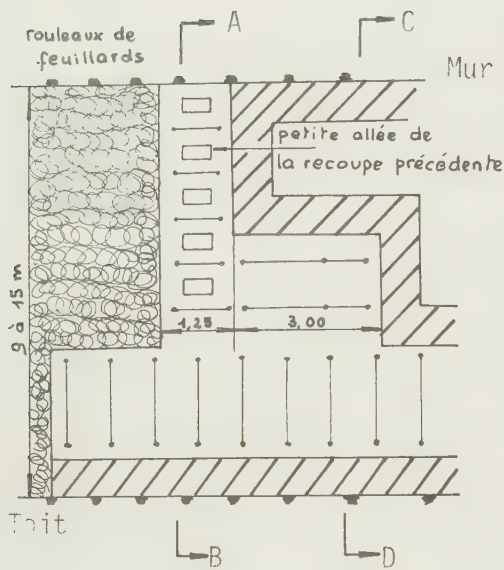
La méthode des tranches horizontales unidescendantes est une des plus anciennes : sa mise au point remonte au début du siècle dans les grandes couches de Montrambert et de Blanzay.

Le dépilage de chaque tranche est effectué soit à l'aide de piliers et recoupes soit à l'aide, de préférence, de tailles courtes.

TECHNIQUE DU SUB-LEVEL CAVING EN TRANCHES HORIZONTALES DESCENDANTES
(Couche à pendage régulier supérieur à 40° : Fendue St Thomas, Loire)

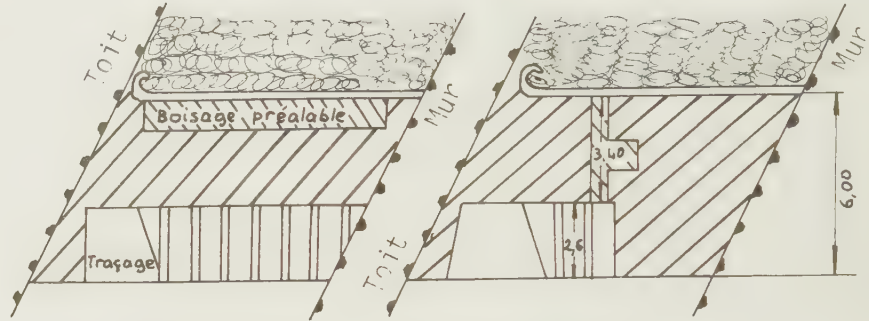
d'après P. I. M. n° spécial avril 1956

- 1 - Creusement de la recoupe

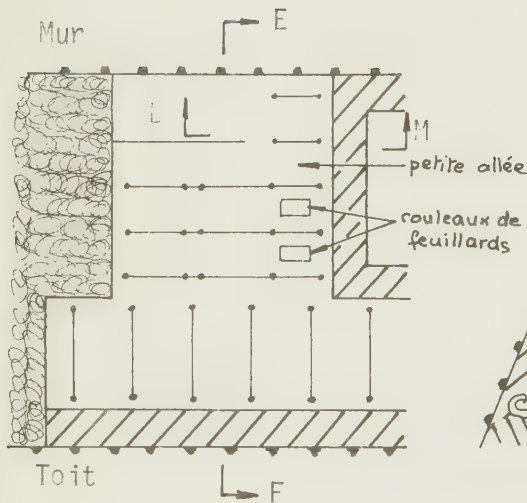


Coupe A-B

Coupe C-D

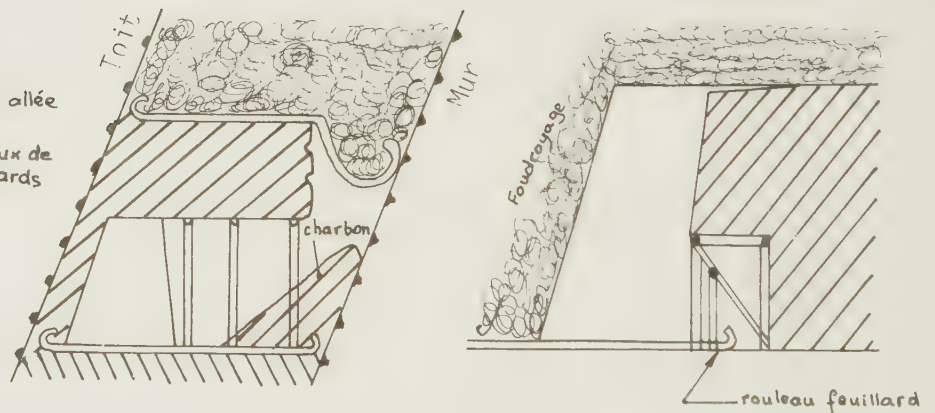


- 2 - Foudroyage de la recoupe après confection du boisage préalable

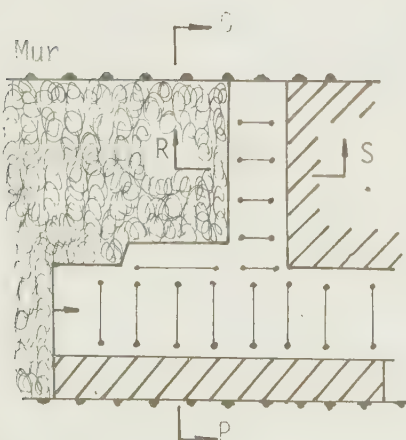


Coupe E-F

Coupe L-M

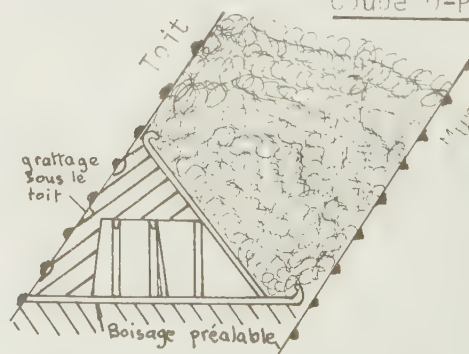


- 3 - Foudroyage du tréçage et récupération du charbon sous le toit



Coupe Q-P

Coupe R-S



Le remblayage hydraulique a été progressivement remplacé par le remblayage pneumatique qui présente moins d'inconvénients pour la prise des tranches inférieures.

On a utilisé également le foudroyage, qui abaisse le prix de revient, mais conduit à sacrifier un peu de gisement et d'une façon générale, est moins souple que le remblayage.

Le foudroyage est surtout intéressant pour les minéraux ayant une moindre valeur marchande comme le lignite. D'autre part, avec ce procédé on exploitait plusieurs tranches simultanément (de deux jusqu'à quatre) ce qui permettait d'augmenter le tonnage produit.

L'inconvénient principal des tranches horizontales c'est, en effet, d'introduire une trop grande dispersion des chantiers productifs surtout pour les veines très inclinées. Leurs dimensions sont limitées de part et d'autre par les épontes.

Pour pallier cet inconvénient, on a introduit la méthode des épaisses tranches horizontales montantes exploitées par des sous étages descendants de hauteur normale. Puis est apparue la pratique du "sub level caving" (Figure 1) préfiguration du soutirage, qui consiste à exploiter en une seule fois des tranches épaisses, en dépilant la partie inférieure et en récupérant par foudroyage la partie supérieure /2/. (1)

Pour les gisements faiblement pentés, on a préféré mettre en oeuvre la méthode des tranches inclinées.

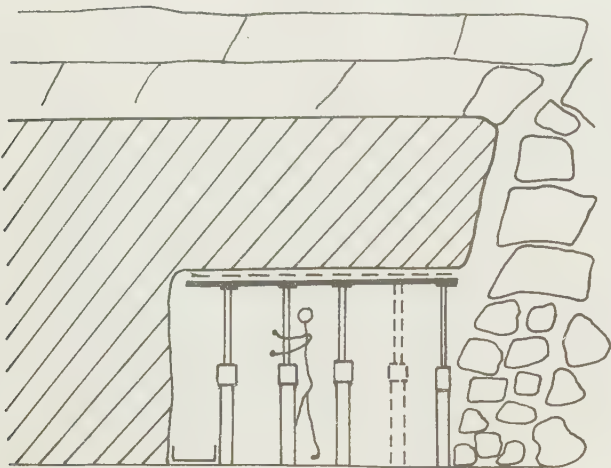
2) Les tranches inclinées

L'exploitation par tranches inclinées, à peu près parallèles aux épontes a surtout été appliquée dans les couches faiblement pentées et assez régulières (qui sont très répandues dans le monde).

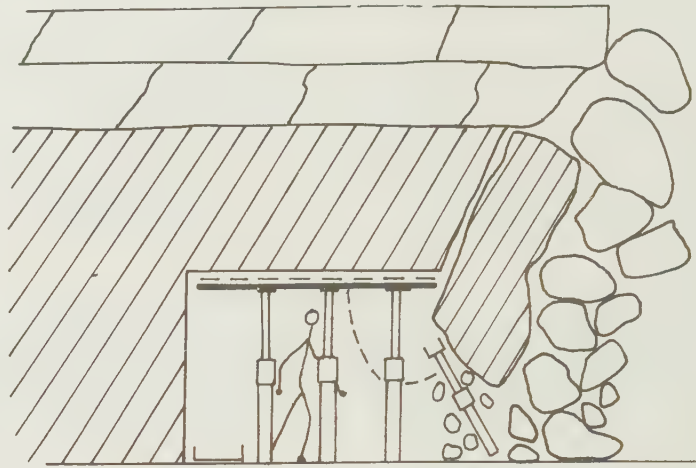
(1) Les chiffres entre les deux traits / / renvoient à la bibliographie.

FOUDROYAGE DU CHARBON DU TOIT DANS UNE COUCHE DU BASSIN DES CEVENNES

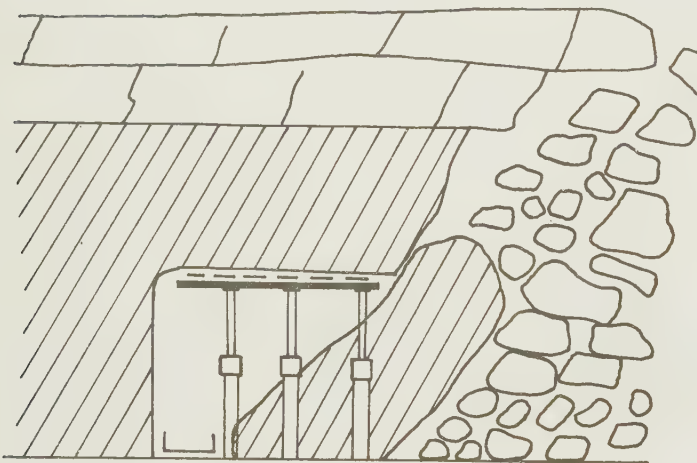
d'après R. I. M. n° spécial avril 1956



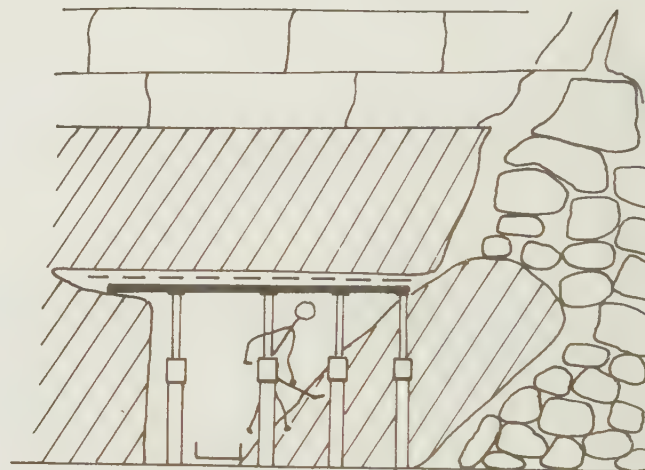
- 1 - Avant foudroyage



- 2 - Début foudroyage



- 3 - Le charbon foudroyé est poussé par le toit fracturé



- 4 - Récupération début



- 5 - Fin de la récupération et avancée du front



- 6 - Fin du cycle

Cette méthode permet le découpage de panneaux de grandes dimensions, dépilés soit à l'aide de chambres et piliers (le pilier silésien par exemple), soit par de longues tailles.

Les tranches peuvent être descendantes ou montantes. Dans le cas des tranches descendantes, (très utilisées dans le Centre Midi), on n'utilise pas nécessairement le remblayage. On pose alors un grillage protecteur entre le foudroyage et la tranche inférieure.

Les tranches montantes au contraire sont normalement assorties du remblayage, qui doit être aussi parfait que possible pour éviter la dislocation des bancs supérieurs (ceci exige un matériau bien adapté).

Enfin, c'est dans le cadre des tranches parallèles aux épontes qu'est apparue la prise de la couche en une seule fois, technique dont le développement a conduit au soutirage.

Son principe général consiste à récupérer dans une taille au mur, par foudroyage, la planche de charbon au toit. Introduite dans une couche des Cévennes de 4 à 5 m de puissance, il y a une vingtaine d'année (Figure 2), cette méthode était connue depuis longtemps en Angleterre sous le nom de "Roof coal worked in waste" et pratiquée également à l'époque dans le bassin du Donetz (après enlèvement préalable au toit d'une tranche de 2 m d'épaisseur) /3/.

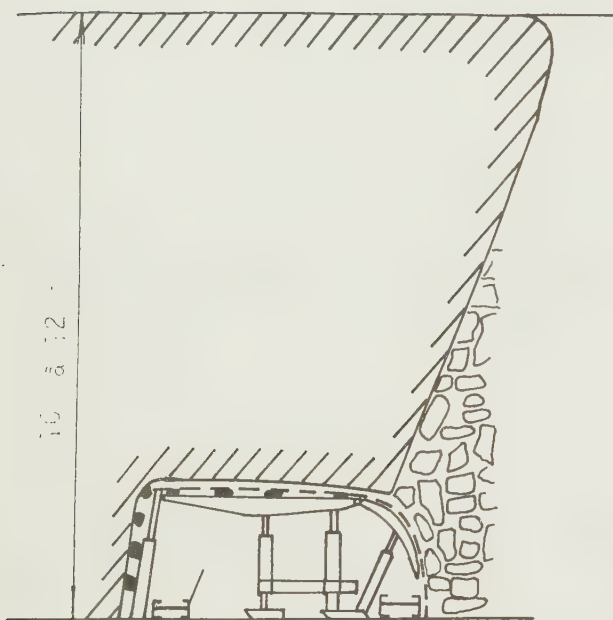
Cette technique permet d'une part de concentrer la production dans un chantier unique, et d'autre part de s'adapter aux gisements irréguliers. Les tranches inclinées en effet sont assujetties à la difficulté de conduire la première taille au toit quand ce dernier est de mauvaise qualité et irrégulier. Il en est de même d'ailleurs pour la dernière tranche (au mur) qui n'est pas toujours récupérable, notamment quand elle devient lenticulaire à cause d'irrégularités du mur.

Le soutirage des couches puissantes tend aujourd'hui à devenir la méthode prépondérante et c'est dans son cadre que nous avons mené la plupart de nos expérimentations. Aussi lui avons-nous réservé une place à part.

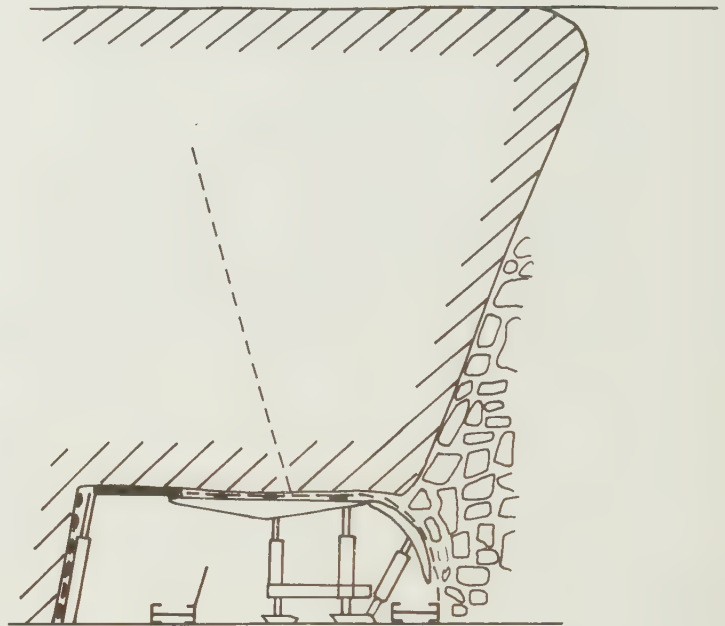
FIG.3

LE SOUTIRAGE INTEGRAL EN PLATEAUX

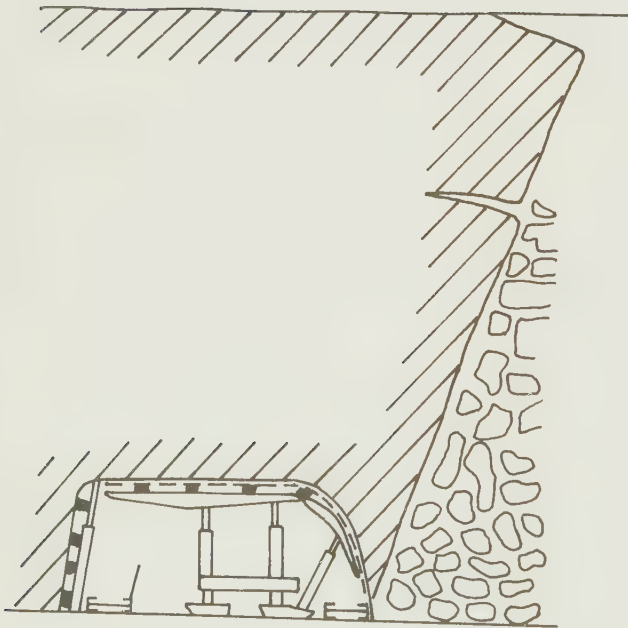
Scène DARCY - Panneau D
Soutirage avec piles Westfalia



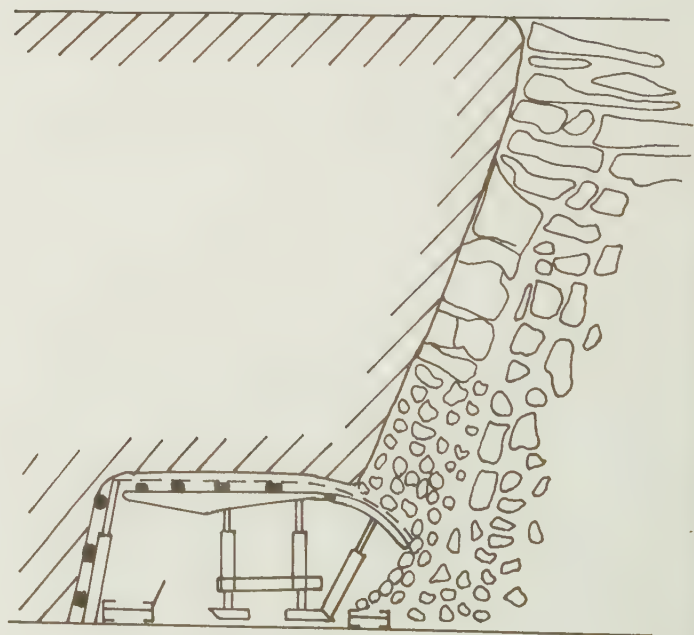
- Attente -



- Abattage -



- Ripage -



- Soutirage -

2 - LE SOUTIRAGE

L'évolution de la technique du soutirage et son extension à de nombreux bassins ont été favorisées par le progrès de la mécanisation. Ainsi, à partir du procédé décrit dans le paragraphe précédent, on a introduit d'abord un deuxième convoyeur à l'arrière, destiné à récupérer le charbon foudroyé, puis on a généralisé l'emploi du soutènement marchant.

Tout en continuant à coexister avec les autres méthodes, le soutirage s'est développé ces dix dernières années (dans tous les cas où le remblayage de l'arrière-taille n'était pas obligatoire) avec toutefois des variantes importantes, imposées par les conditions géométriques naturelles.

En France, environ 3 millions de tonnes (soit presque 10 % de la production nationale) étaient extraits en 1971 par ce procédé, selon la répartition suivante :

	Production en millions de Tonnes
Couches épaisses peu inclinées, soutirées	1,5 MT
Couches épaisses peu inclinées, exploitées par chambres et sou- tirage	0,06 MT
Couches inclinées exploitées par tranches horizontales soutirées	0,8 MT
Couches inclinées exploitées par soutirage en chambre	0,5 MT

PRO 1
LE SOUTIRAGE INTEGRAL (H.B. BLANZY, SIEGE DARCY)



Nous allons examiner ces différents cas, en insistant sur le premier, qui est le plus répandu et que nous avons plus spécialement étudié : le soutirage intégral.

1) Le soutirage en plateaux (pendage inférieur à 20°)

Le procédé le plus courant utilisé en France est le soutirage intégral, parfois appelé "soutirage sauvage" ou encore "soutirage non préparé". Il s'oppose au soutirage précédé par l'exploitation d'une taille au toit, connu sous le nom de "soutirage de la tranche prisonnière" (ou intermédiaire).

- Soutirage intégral par longues tailles

L'application de la méthode et son principe sont illustrés par les figures 3, 4. La quasi totalité des chantiers (90 % en France) sont aujourd'hui dotés d'un soutènement marchant particulier, muni à l'arrière de vérins obliques qui assurent le mouvement de prolonges articulées aux chapeaux (nommées "bananes" en raison de leur forme). Le mouvement de va-et-vient de ces "bananes" stimule la dislocation de la planche de charbon supérieure et sa chute dans la dernière allée de taille : c'est l'opération du soutirage. Afin de contrôler la décohé- sion de la couronne, un grillage est posé à front au-dessus des chapeaux ; il faut donc y pratiquer des ouvertures pour récupérer le charbon soutiré qui est ensuite évacué dans un deuxième convoyeur.

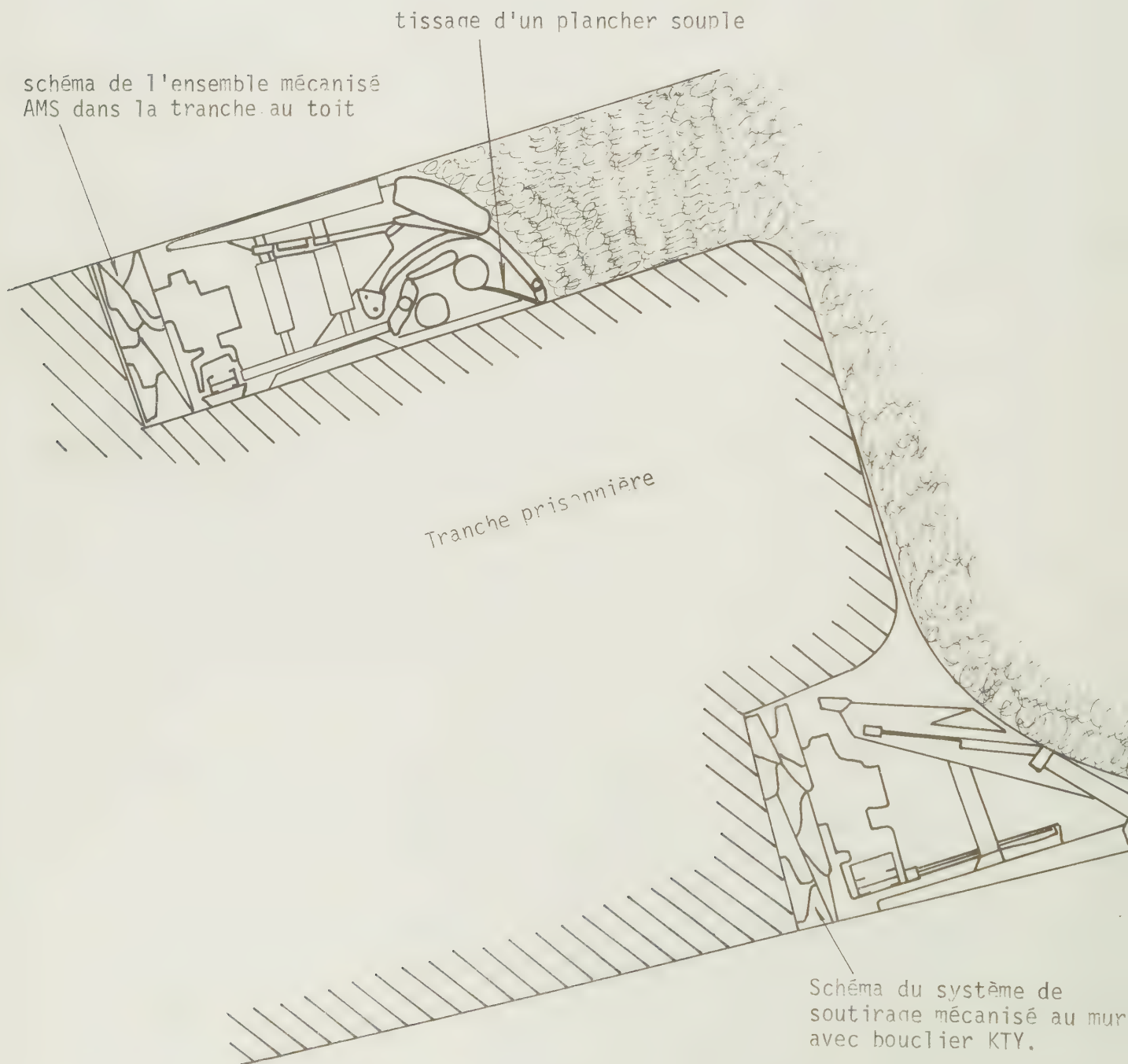
L'abattage du charbon à front se fait au piqueur et à l'explosif, ou bien, dans la mesure du possible, par havage (l'introduction d'une haveuse dans ces chantiers soulevant de grosses difficultés en raison des très fortes déformations de la couronne).

Quand la récupération de la tranche supérieure dans le soutirage se fait mal, son abattage peut être éventuellement accéléré par des tirs

FIG.5

METHODE D'EXPLOITATION AVEC SOUTIRAGE
DE LA TRANCHE PRISONNIERE

(URSS)



appelés "tirs en camouflet". Ils exigent de nombreuses précautions (faible charge d'explosif, au fond de longs trous en couronne pour lesquels on vérifie soigneusement l'étanchéité, la teneur en grisou etc...).

- Soutirage de la tranche prisonnière /10/

Cette méthode est surtout pratiquée en URSS où elle fait l'objet d'une mécanisation poussée. La figure 5 en donne un exemple. Une tranche au toit est préalablement havée (et une machine spéciale assure même le tissage et la pose du grillage qui séparera la tranche intermédiaire du foudroyage). Dans la taille au mur, équipée d'un soutènement de type bouclier, le charbon du soutirage et celui de l'abattage sont évacués par un convoyeur unique.

La récupération du gisement, même dans les couches très épaisses est excellente. En particulier, le grillage protecteur évite à coup sûr le mélange du charbon et des blocs du toit, que l'on redoute dans le cas du soutirage intégral.

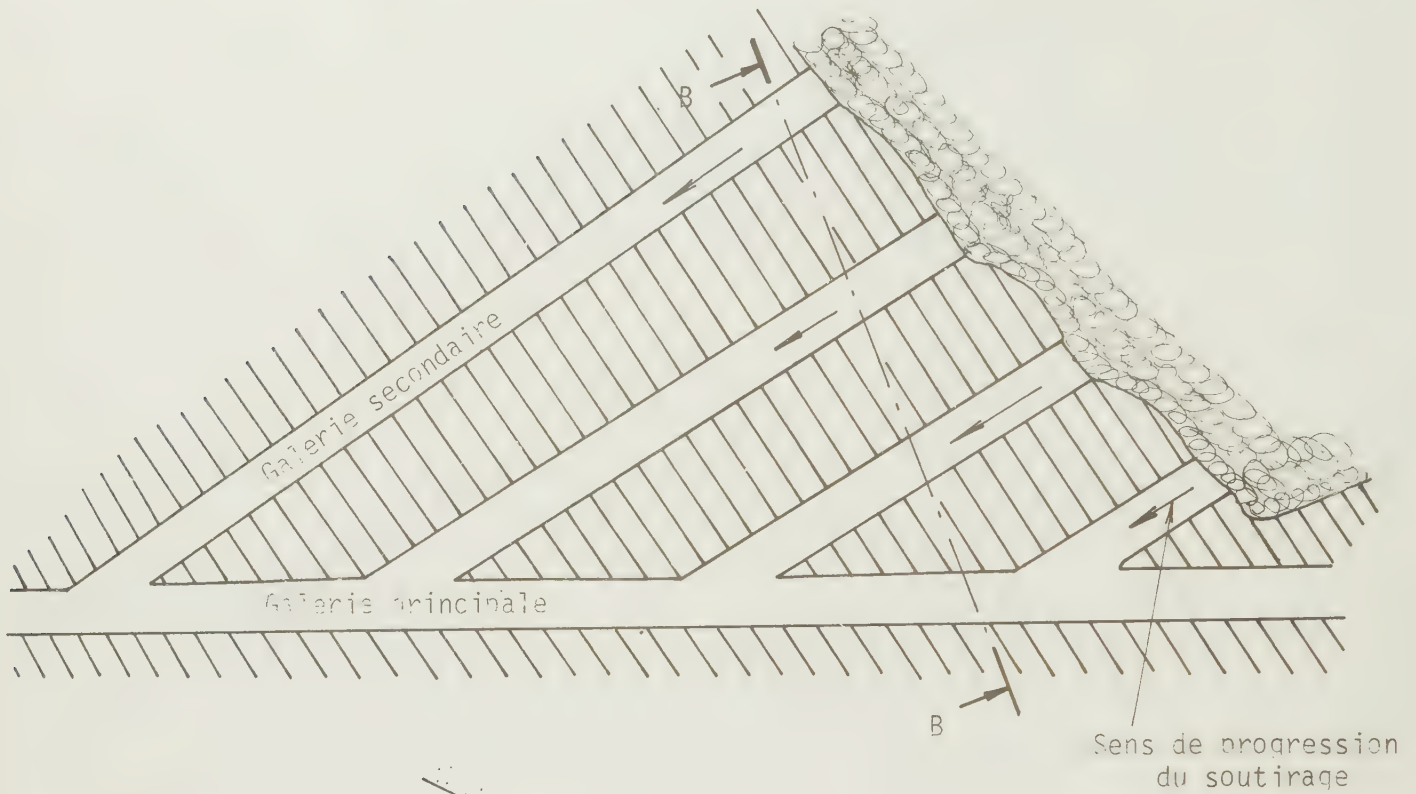
Mais la tranche intermédiaire, détendue par la première taille, se désagrège difficilement et doit être abattue à l'explosif. D'autre part, ce procédé exige une couche régulière et un toit de bonne qualité ce qui le rend très difficile dans les gisements français.

- Soutirage par chambres et piliers /12/

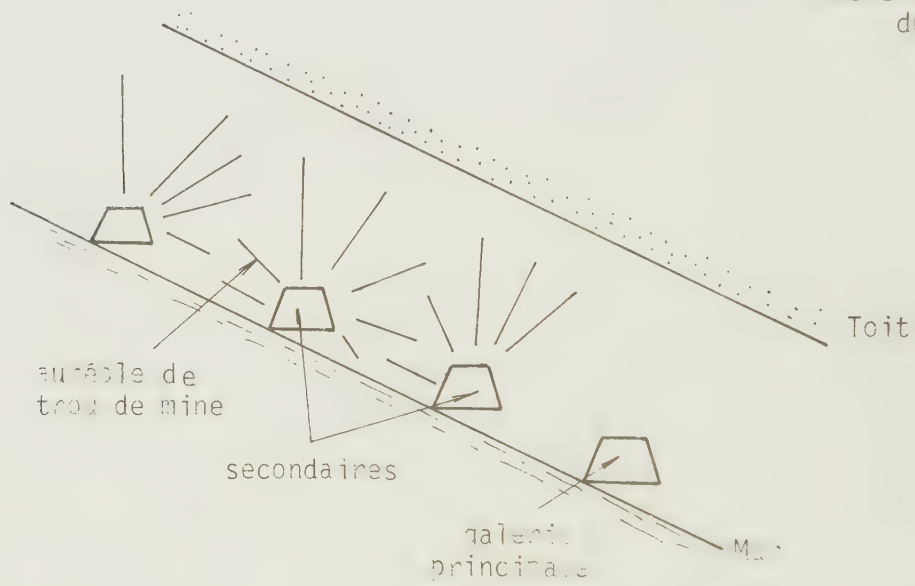
En dehors des longues tailles, le soutirage peut également être pratiqué à partir de chambres. Le réseau de galeries est alors tracé au voisinage du mur et la partie supérieure de la couche est abattue ou foudroyée, aux extrémités des chambres. On récupère également la plus grande partie des piliers intermédiaires.

FIG.6

EXPLOITATION PAR SOUTIRAGE EN CHAMBRE



Coupe BB



L'Aquitaine fournit un exemple représenté Figure 6, pour lequel l'abat-tage se fait à l'explosif et le chargement du charbon est assuré par des camions à godets.

Cette méthode est particulièrement adaptée pour les panneaux de formes géométriques très irrégulières, où l'installation d'une longue taille n'est pas possible sans sacrifier une part importante du gisement.

Tous ces procédés, peuvent en principe être étendus aux couches plus fortement pentées (25 à 40°), avec quelques précautions, en particulier celle de prendre le gisement en descendant, pour pouvoir contrôler le soutirage.

2) Le soutirage dans le cas de pendage $> 40^\circ$

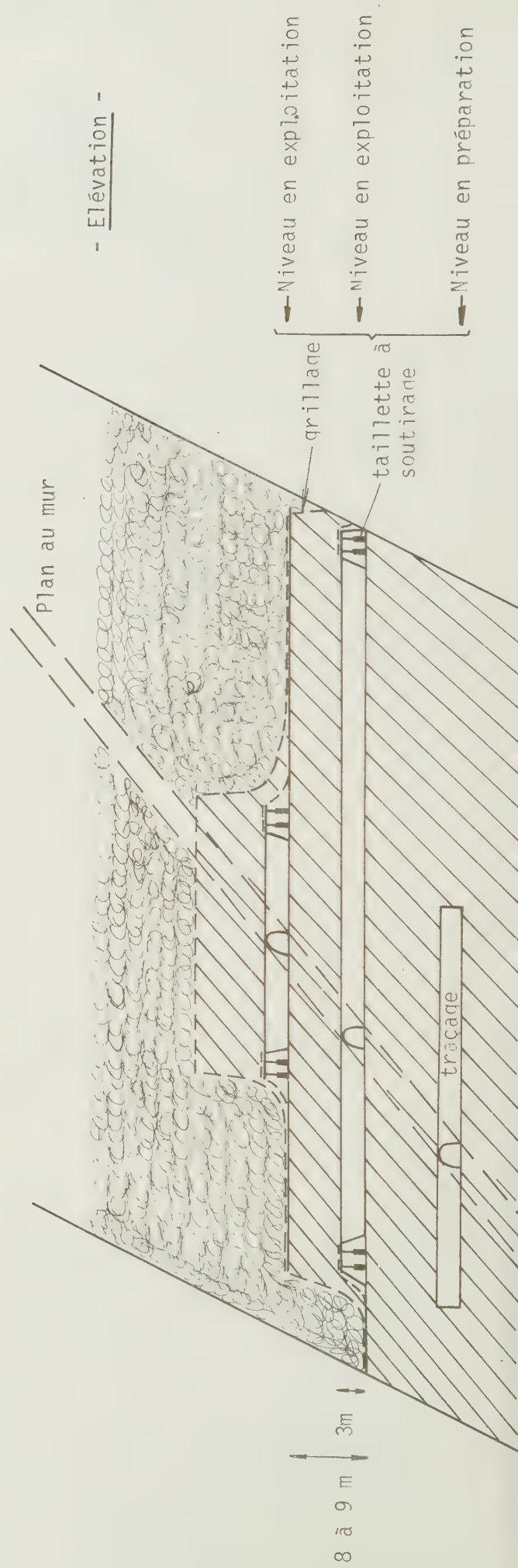
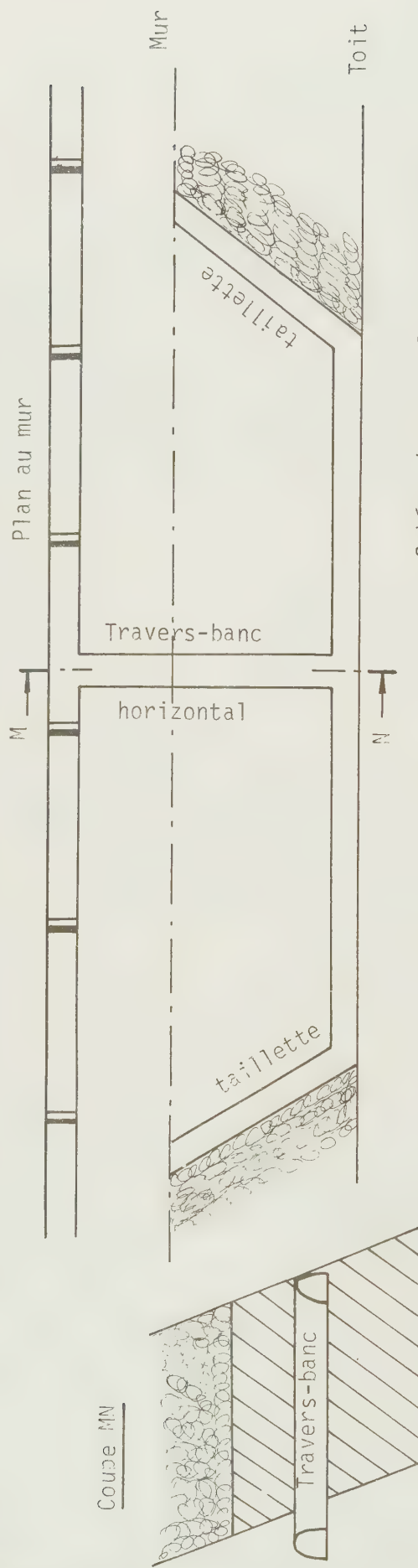
- Les tranches soutirées /6/, /7/

La principale méthode pour les couches puissantes très inclinées, est celle des tranches épaisses horizontales descendantes, soutirées. On distingue deux cas suivant que la traversée horizontale de la veine est inférieure ou supérieure à une douzaine de mètres.

Dans le premier cas, Figure 7, à partir d'un plan incliné au mur de la couche, on trace un travers-banc horizontal au niveau de chaque tranche (dont l'épaisseur est de 8 à 9 m). Ce travers-banc est prolongé à travers la couche jusqu'au toit. Il sert de point de départ à deux galeries en cul de sac qui conduisent, de part et d'autre, jusqu'aux extrémités du panneau. C'est aux extrémités de ces galeries généralement creusées sous le toit, qu'on ouvre une taillette de 3 m d'ouverture, de longueur à peu près égale à la traversée de la couche. On exploite ensuite en rabattant sur le travers-banc initial, et en soutirant la partie supérieure de la tranche suivant le même procédé qu'en plateures. Un grillage est placé en couronne afin de séparer la tranche suivante du foudroyage.

FIG.7

LA METHODE D'EXPLOITATION DES COUCHES PUISSANTES TRES INCLINEES PAR
TRANCHES HORIZONTALES SOUTIREES (Méthode Bourbaki)



Pour assurer une production régulière et suffisante, on a en permanence deux tranches en exploitation et une ou deux tranches en préparation. Cette technique connue sous le nom de méthode "Bourbaki", est utilisée en particulier dans la Loire.

Quand la traversée horizontale de la couche est supérieure à 12 m, on utilise deux plans inclinés, l'un au toit, l'autre au mur, réunis par un travers-banc qui traverse la tranche. De part et d'autre, on trace non plus deux mais quatre galeries en direction, qui desservent les deux taillettes aux extrémités du panneau. Pour chaque paire de galeries, l'une est au toit, l'autre au mur, l'une sert d'entrée d'air, l'autre de retour d'air. Le dépilage se fait ensuite de manière analogue au cas précédent.

Une variante du procédé consiste à exploiter au préalable une tranche au toit.

- Soutirage par chambres

Le soutirage par chambres s'effectue soit à partir de galeries dans la couche, soit à partir de galeries au rocher. Il est utilisé dans les gisements pentés les plus irréguliers.

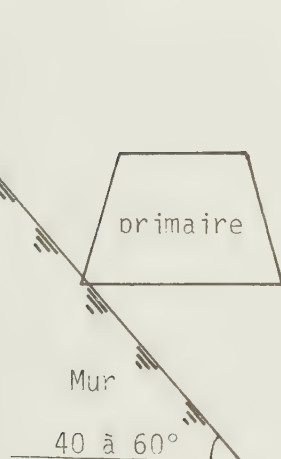
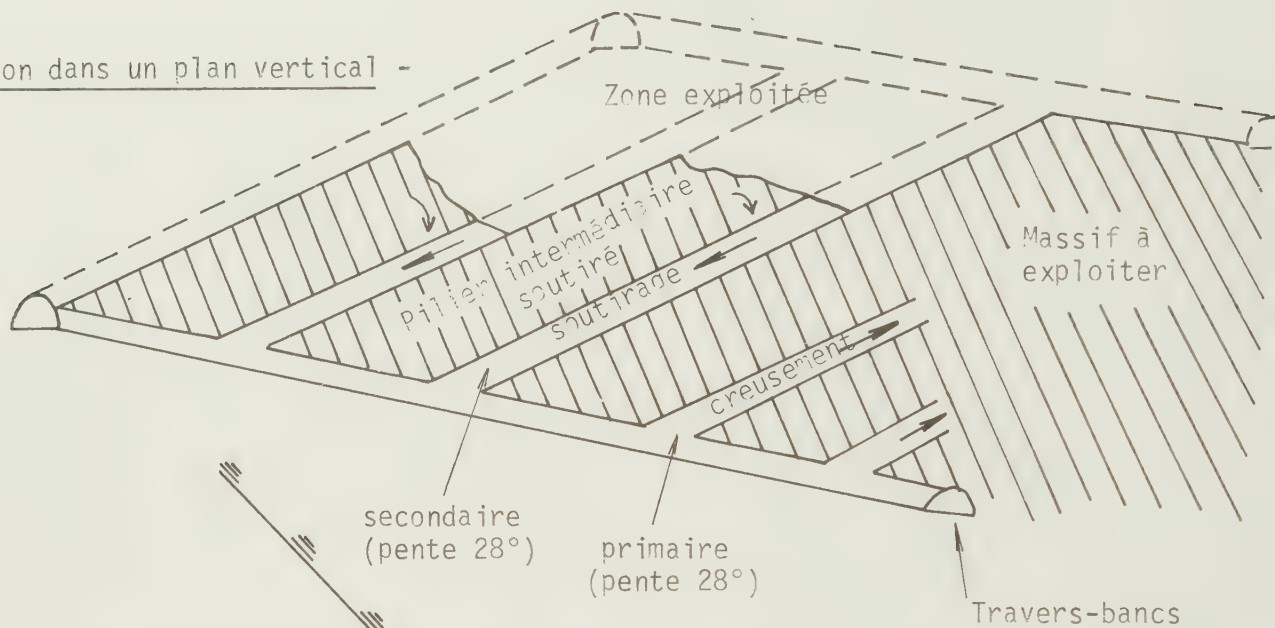
Le premier procédé utilisé en Auvergne (Brassac) et dans le Dauphiné consiste à tracer dans la couche un réseau de galeries en suivant des lignes de niveau ou en imposant une pente uniforme (par exemple 28° en Auvergne), pour permettre l'évacuation des produits. Sur une primaire proche du mur, se greffent des secondaires à partir desquelles on soutire la tranche de charbon intermédiaire entre elles (Figure 8).

Quand la puissance est insuffisante pour contenir un tel réseau, on récupère le maximum de gisement par soutirage à partir d'une galerie unique, dans le sens rabattant.

FIG. 8

EXEMPLE D'EXPLOITATION PAR GALERIES EN COUCHE
AVEC SOUTIRAGE DANS UNE COUCHE EPAISSE, TRES INCLINEE

- Projection dans un plan vertical -



- Coupe transversale de la couche -



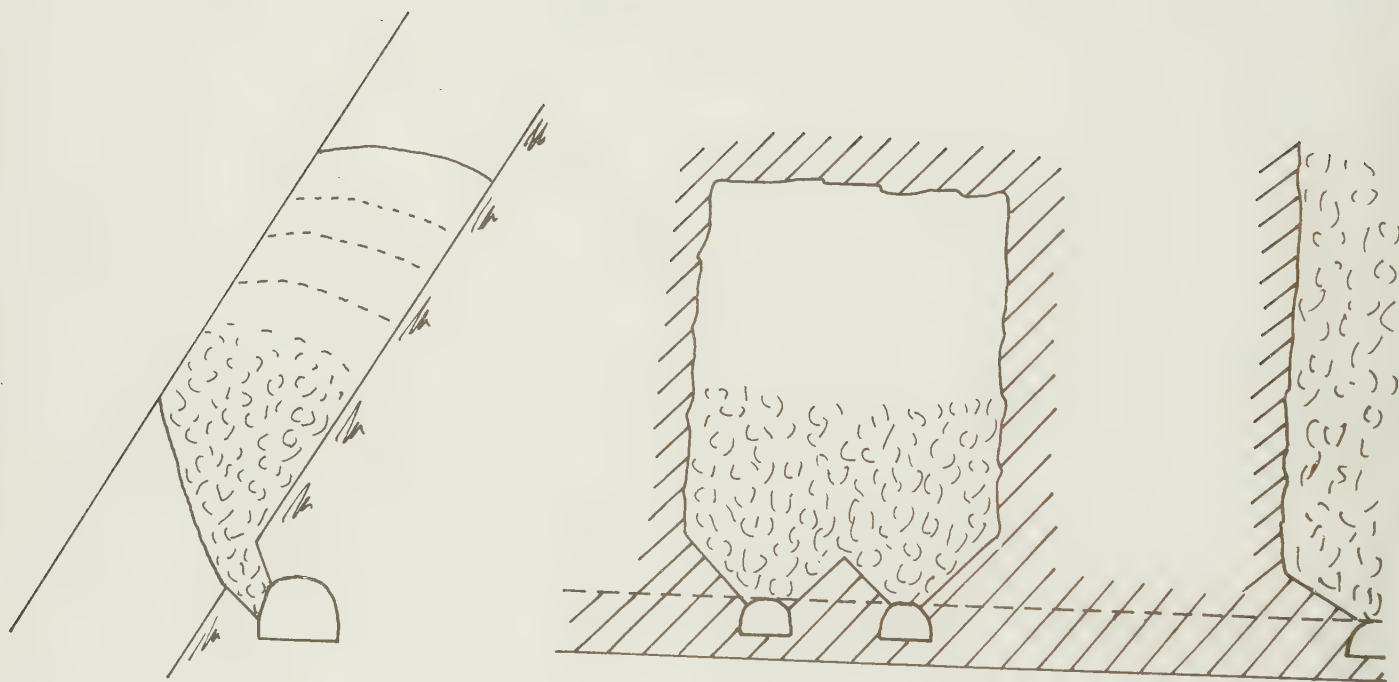
- Couche très irrégulière -

Le deuxième procédé est illustré sur la figure 9 . A l'aide d'une galerie au mur et d'une succession de recoupes d'accès en couche, on opère une sorte de "ponction du charbon" qui s'écoule suivant la ligne de plus grande pente jusqu'à 80 m de hauteur. Il est nécessaire d'avoir une surface ouverte suffisante au départ pour que l'éboulement se propage assez loin (de l'ordre de 80 m²). /13/

Malgré leur diversité apparente, la plupart de ces méthodes soulèvent des problèmes communs de contrôle des terrains que nous allons examiner maintenant.

FIG. 9

SOUTIRAGE PAR CHAMBRES
(HOUILLERES DU DAUPHINE)



3 - CÔNCLUSION - LES PROBLÈMES DE MOUVEMENTS DE TERRAINS

On est passé progressivement des méthodes par tranches horizontales ou inclinées, généralement descendantes, aux différentes variantes de soutirage dont le mérite essentiel est d'avoir permis de concentrer la production.

Mais il faut reconnaître qu'on a concentré du même coup les difficultés sur les chantiers, qui subissent en une seule fois les effets du dépiilage de la couche entière. En particulier, les voies de desserte sont soumises à des déformations d'une ampleur telle qu'elles se referment totalement en quelques mois. Il s'agit moins d'optimiser leur prix de revient que de maintenir en permanence une ouverture suffisante. La question est d'autant plus cruciale que la production d'un siège dépend désormais le plus souvent, d'une ou deux tailles à soutirage, desservies chacune par deux voies. La fermeture d'un seul de ces chantiers est donc catastrophique.

Notre premier objectif est de connaître le mécanisme de déformations des voies creusées au charbon et les facteurs qui l'influencent.

Par ailleurs, dans les tailles, des difficultés d'un type nouveau ont surgi avec le soutirage : comment contrôler la stabilité de la tranche de charbon en couronne, comment maîtriser les déformations de façon à pouvoir mécaniser les travaux (notamment l'abattage....) Il faut en fin de compte connaître les mécanismes qui gouvernent le foudroyage de la tranche soutirée, de façon à le rendre moins aléatoire et à assurer une production plus régulière.

Notre deuxième objectif général est l'étude des mécanismes de déformations en tailles soutirées et là encore, l'étude des facteurs qui les déterminent.

Une série de campagnes de mesures ont été mises en oeuvre, pour répondre à toutes ces interrogations. La méthode expérimentale est directement inspirée de celle qui est utilisée couramment dans les couches minces.

De même, les connaissances accumulées au cours des nombreuses expérimentations en couches minces vont constituer un point de départ solide pour notre étude. Nous leur intégrerons un certain nombre de résultats acquis dans les couches puissantes à l'occasion de campagnes de mesure, parfois assez anciennes et dont les objectifs n'étaient pas nécessairement ceux que nous poursuivons.

Ces différents points font l'objet des chapitres suivants

PLAN DU CHAPITRE II

RAPPEL DE QUELQUES RESULTATS ANTERIEURS

I - RESULTATS CONNUS EN COUCHES MINCES

- 1) Dans les galeries
- 2) Dans les tailles

II - EXPERIMENTATIONS ANTERIEURES EN COUCHES PUISSANTES

- 1) Tranches descendantes sans soutirage
- 2) Tranches descendantes soutirées (méthode BOURBAKI)

III - CONCLUSION

RAPPEL DE QUELQUES RESULTATS ANTERIEURS

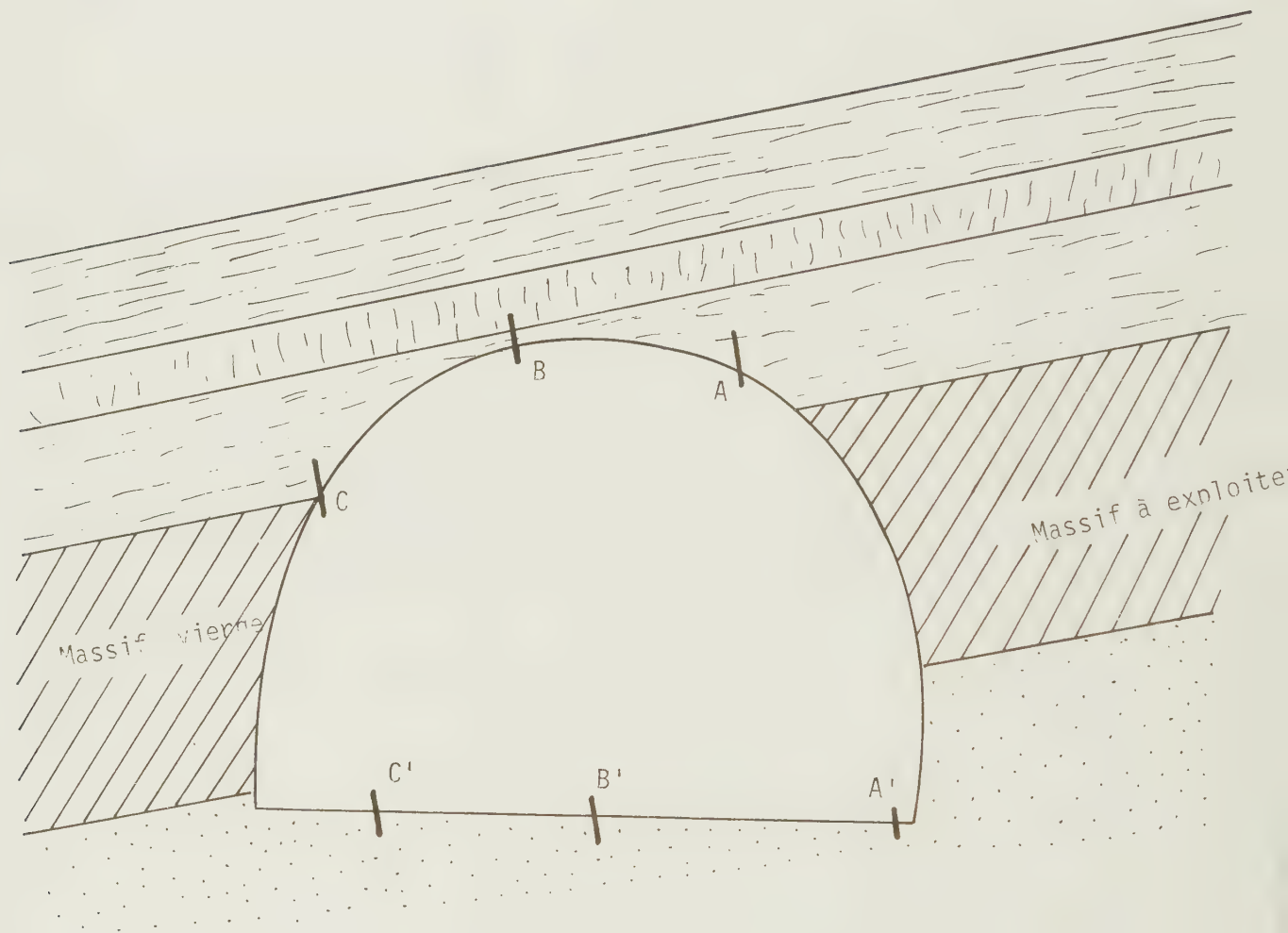
Les résultats d'expérimentations antérieures à notre étude et spécifiquement menées en couches puissantes sont en fait assez rares et ne portent pas sur la méthode du soutirage intégral. Nous en ferons état dans la deuxième partie de ce chapitre. En revanche, nous disposons dans les couches minces d'une expérimentation riche et déjà ancienne sur laquelle nous pouvons naturellement nous appuyer.

Nous allons rappeler brièvement les principaux résultats en ce qui concerne les mécanismes de déformation d'une part, dans les galeries d'autre part dans les tailles entre épontes en plateures. Nous aurons l'occasion de nous y référer pour comparer avec le comportement des voies et des tailles en couches épaisses.

Les facteurs dont nous rappelons l'influence sur le mécanisme sont ceux qui ont pu être étudiés également en couches puissantes. Nous mettons évidemment l'accent sur le rôle de l'épaisseur de la couche tel qu'il a pu être défini dans les couches ne dépassant pas 3 m.

FIG.10

STATION DE MESURE DE CONVERGENCE
EN COUCHES MINCES



1 - RESULTATS CONNUS EN COUCHES MINCES

1) Dans les galeries

Les études de mouvements de terrains dans les galeries reposent en grande partie sur la mesure de la convergence /14/.

La convergence est par définition la mesure du rapprochement de deux broches ancrées perpendiculairement aux épontes, l'une au toit, l'autre au mur. Elles peuvent être implantées au milieu de la galerie et auprès des parements (Figure 10).

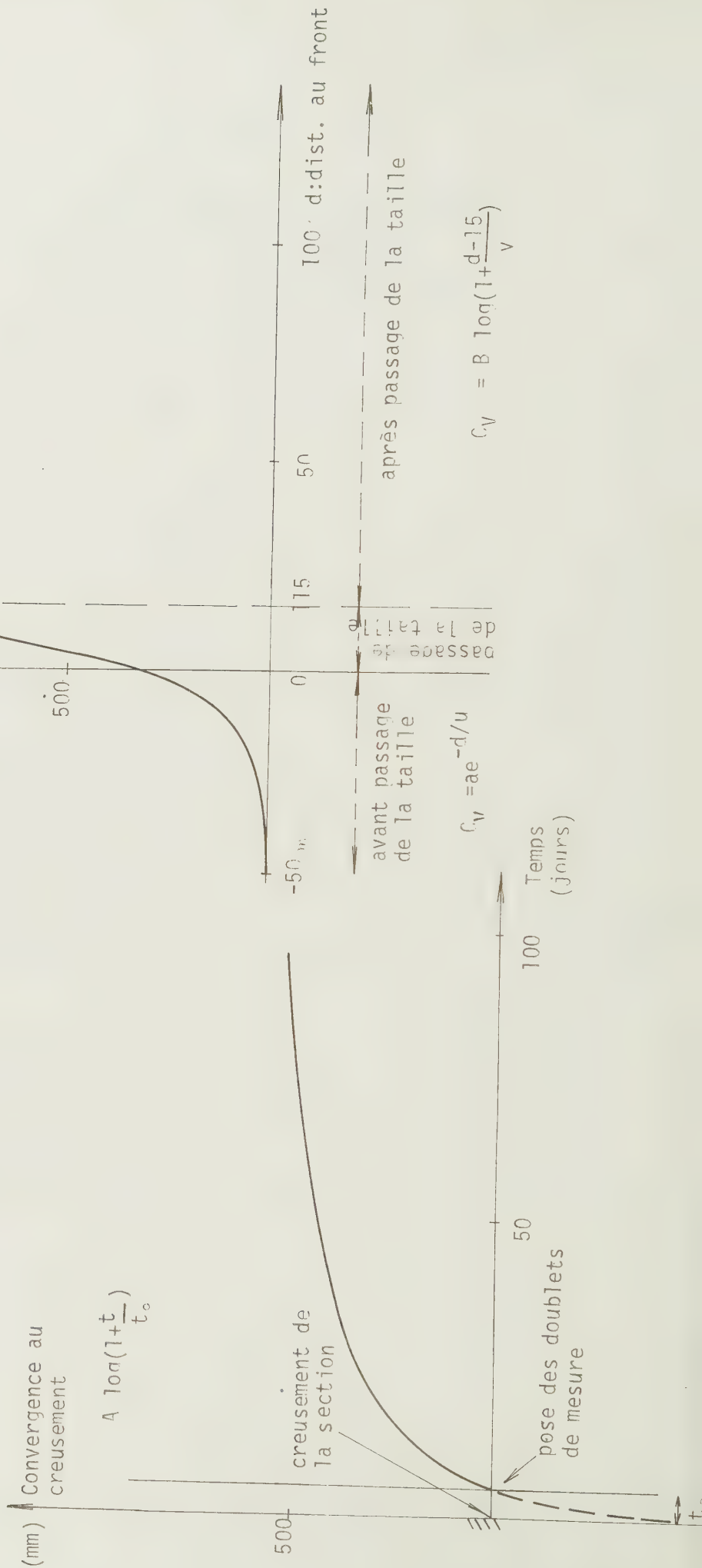
L'évolution des convergences est liée aux différentes phases des travaux : creusement, passage de taille.

- Pendant le creusement et en dehors de toute autre influence d'exploitation, la convergence dans une section de galerie s'accroît avec le temps en suivant une courbe dont l'allure est rappelée figure 11 . Si le front de creusement progresse régulièrement, la vitesse de convergence diminue continuellement. Cette forme de courbe est passible d'un ajustement logarithmique qui permet d'écrire $C_v = A \log \left(1 + \frac{t}{t_0} \right)$.

M. SCHWARTZ, en proposant cette loi, signalait des exceptions : dans plusieurs cas, un freinage soudain de la convergence se produisait, caractérisé par une valeur de l'amplitude A plus faible ; dans des cas plus rares (notamment dans une couche des Cévennes), une accélération des mouvements conduisait brusquement à une valeur de A plus forte /16/.

FIG.11

EVOLUTION DES MOUVEMENTS EN FONCTION
DES DIFFERENTES PHASES DES TRAVAUX.



- Au passage de la taille : la convergence évolue en fonction de la distance (d) du point de mesure au front de la taille suivant une courbe en S (figure 11).

Les études antérieures ont permis de distinguer trois phases dans l'évolution des convergences. 17/, /18/.

o La phase d'avant passage pendant laquelle on peut rendre compte de la convergence à l'aide d'une forme exponentielle $C_v = a e^{-d/u}$.

Ce type d'évolution traduit la fissuration et l'écrasement du charbon de chaque côté de la voie, sous l'effet de l'augmentation de contraintes due à l'approche de la taille. Cet écrasement permet un rapprochement des épontes de plus en plus prononcé, qui s'amorce en général à une trentaine de mètres en avant du front.

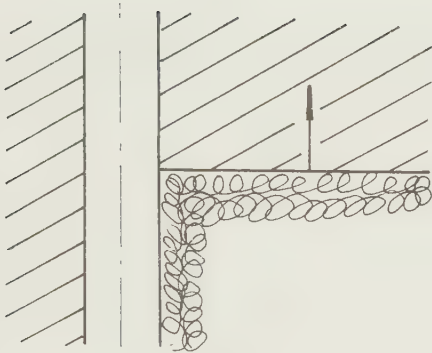
o Au passage de la taille, et jusqu'à une dizaine de mètres après le front, l'évolution est linéaire. L'enlèvement du charbon d'un côté de la voie provoque le basculement du toit qui augmente jusqu'à ce que l'épi de remblai soit serré entre toit et mur. La convergence est proportionnelle à cet affaissement du toit.

o La phase d'après passage est caractérisée par un amortissement des mouvements freinés par l'épi de remblai. On décrit souvent cette phase par une loi logarithmique de la forme : $C_v (\text{entre } 15 \text{ m et } d) = B \log \left(1 + \frac{d - 15}{v} \right)$

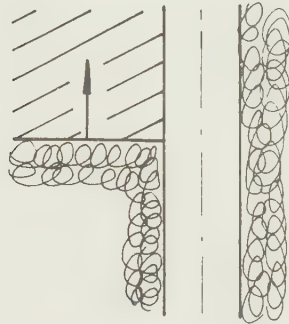
Nous noterons que les déformations sont d'autant plus grandes que la surface de charbon en place est plus petite. C'est le cas en particulier quand une première taille a déjà défilé le massif sur un côté de la voie, et également lorsque deux fronts de taille parallèles progressent en même temps de part et d'autre de la voie considérée (les effets de la taille commencent à se faire sentir à une distance plus grande), (Figure 12 , a, b, c, d). /19/

FIG.12

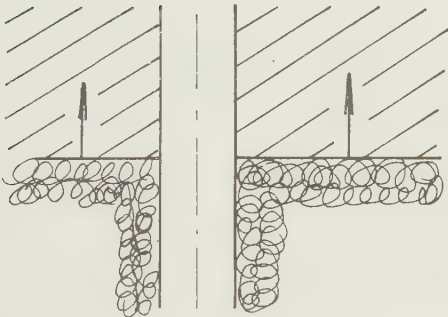
DIFFERENTES CONFIGURATIONS D'EXPLOITATION



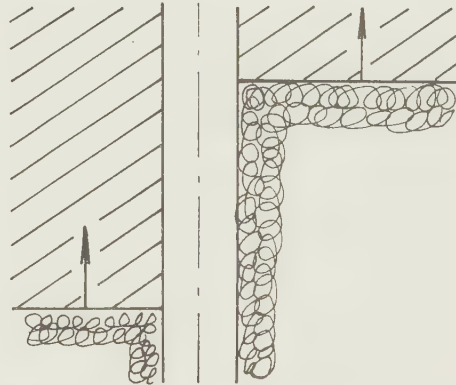
- a - 1ère taille



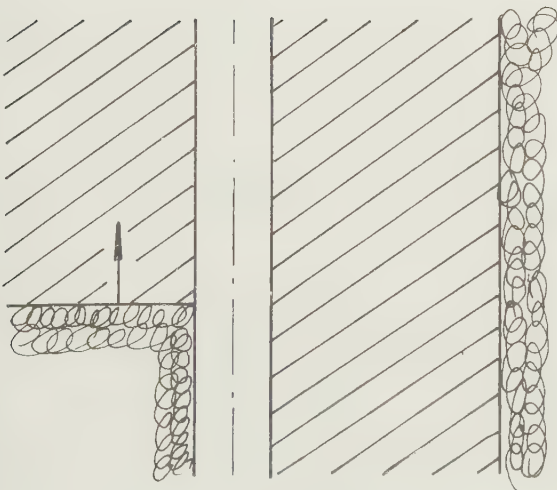
- b - 2ème taille



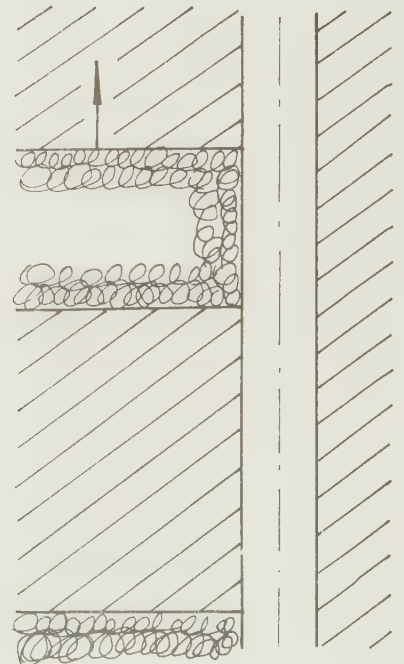
- c - "double unit"



- d - fronts décalés



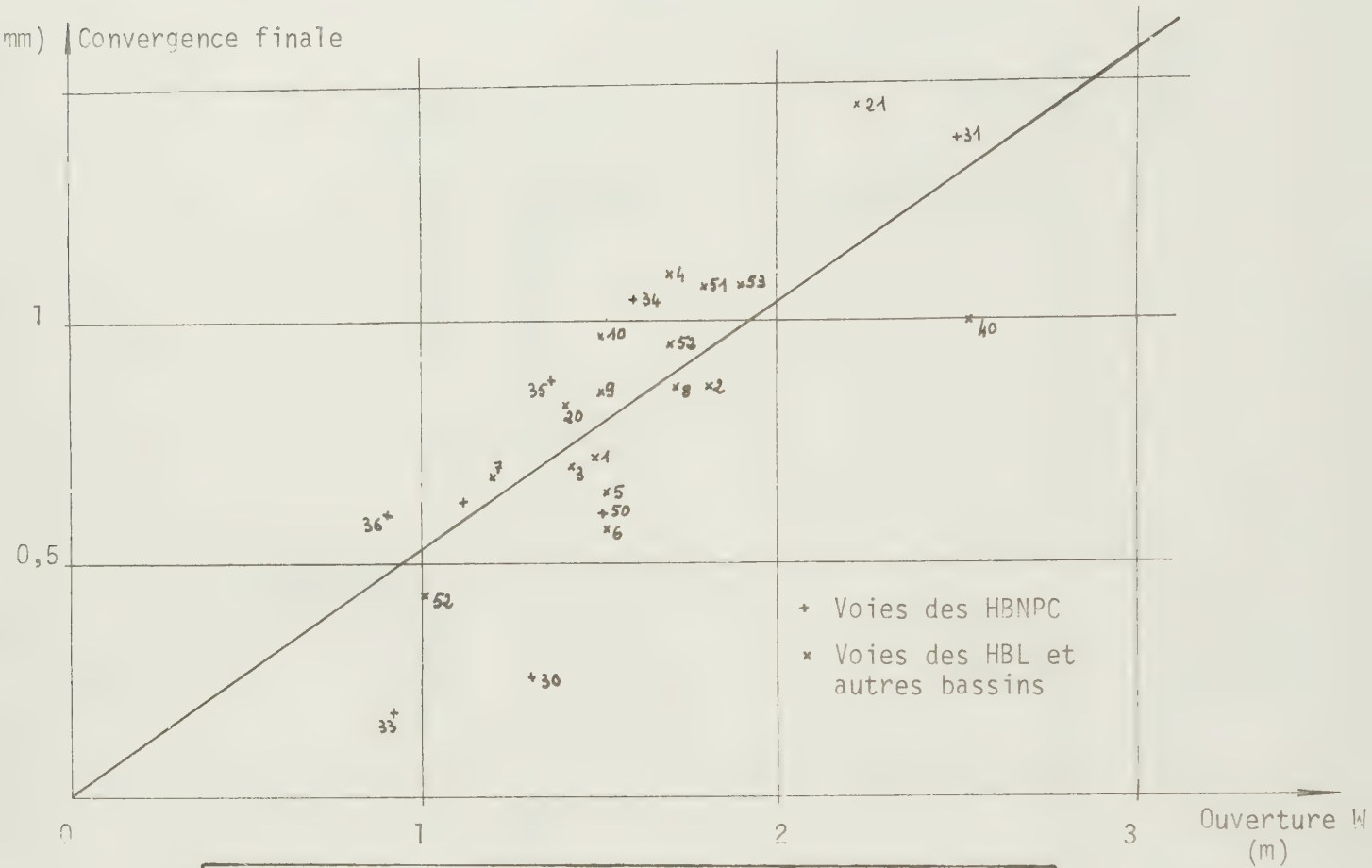
- e - pilier bordant une voie



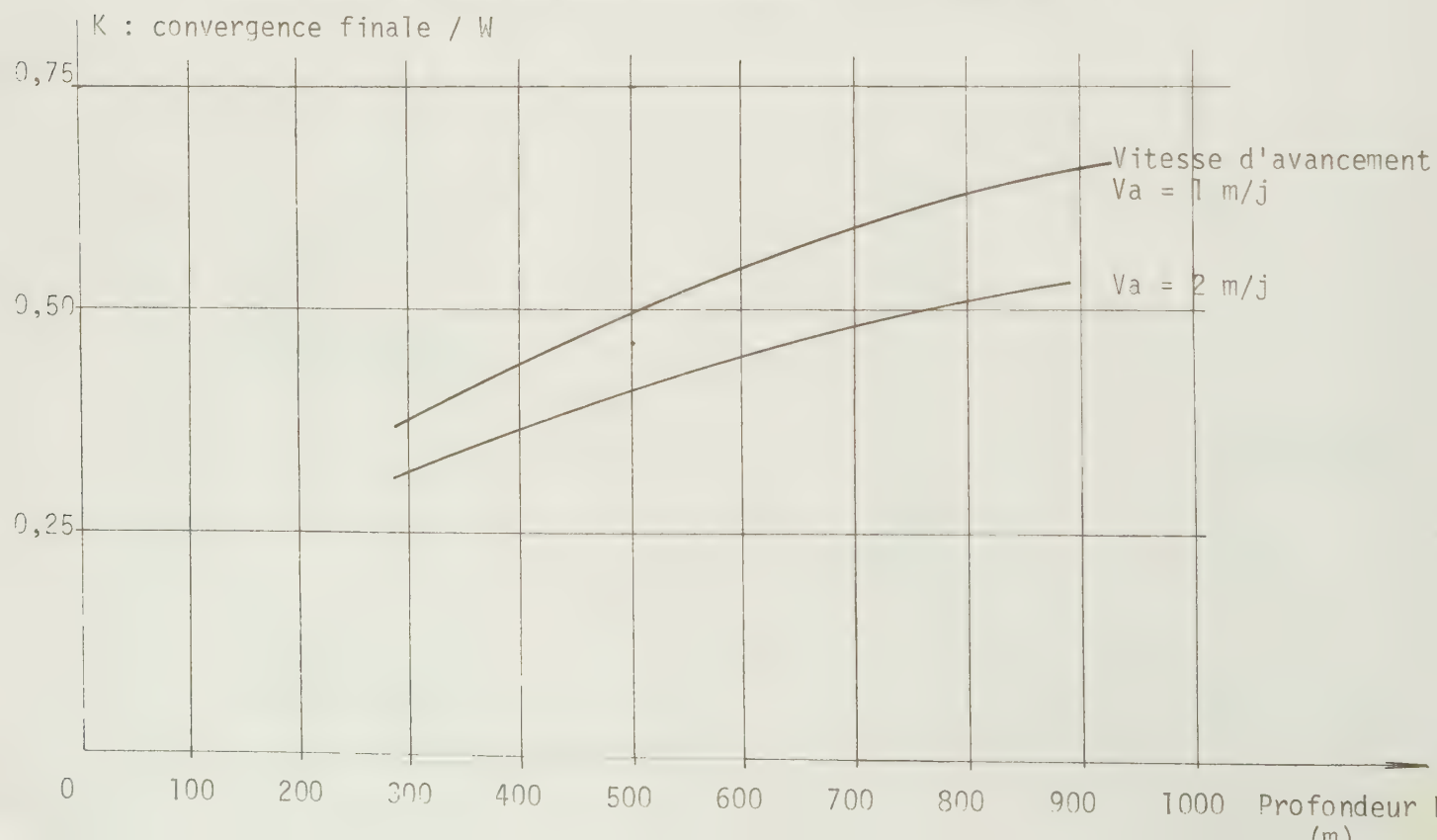
- f - pilier abandonné derrière
une taille

FIG.13

INFLUENCE DE L'OUVERTURE EXPLOITEE SUR LA CONVERGENCE
AU PASSAGE DE LA TAILLE EN COUCHES MINCES



INFLUENCE DE LA PROFONDEUR ET DE LA VITESSE D'AVANCEMENT



Un certain nombre de facteurs susceptibles d'influencer le comportement des voies, ont été systématiquement étudiés depuis plusieurs années. Nous avons retenu les points suivants, seulement parmi ceux qui nous ont préoccupés dans la suite de notre étude :

- Ouverture exploitée et traitement de l'arrière-taille

La convergence est caractérisée par la convergence finale qui mesure la variation de convergence depuis environ 100 m en avant du front jusqu'à 250 m à 300 m derrière lui. Ce paramètre, côté taille, est directement proportionnel à l'ouverture exploitée w (figure 13a). Plus exactement la convergence s'écrit $C = k \times qw$ où q est un coefficient caractéristique du traitement de l'arrière-taille ($q = 1$ pour une taille foudroyée, $q \approx 0,5$ pour un remblayage pneumatique, $q \approx 0,3$ pour un remblayage hydraulique). Cette relation exprime que la convergence est proportionnelle au rapprochement final des épontes dans la taille après l'exploitation.

- La profondeur

Le coefficient k introduit ci-dessus augmente avec la profondeur (figure 13b)

- Va la vitesse d'avancement

La convergence d'après passage, côté taille et en milieu de voie décroît quand la vitesse d'avancement augmente.

- Les exploitations sus-jacentes

Un stot au-dessus d'une voie augmente les convergences dans la zone qui se trouve à l'aplomb. L'influence des limites du stot est particulièrement marquée aussi bien au creusement qu'au passage de la taille. Il en est de même des limites d'anciennes exploitations : un épi de remblai sus-jacent et parallèle à une voie augmente la convergence à son aplomb de 25 % environ de l'ouverture exploitée sus-jacente.

- Pilier bordant une voie

L'exploitation d'un panneau conduit parfois à abandonner une bande de charbon en place le long d'une galerie. Ce charbon abandonné est appelé "pilier". Le pilier peut être parallèle à la galerie sur toute sa longueur pour la séparer de vieux travaux. Il peut aussi être abandonné derrière la taille, perpendiculairement aux voies de desserte, dans le but de les protéger aux endroits difficiles (figure 12 , e et f).

Dans les couches minces, le pilier doit nécessairement avoir plus de 30 m de large ou moins de 5 m. Au-delà de 30 m, il constitue un appui solide ; en-dessous de 5 m, il s'écrase rapidement sans causer trop de dégâts. En revanche, dans le cas de largeurs intermédiaires entre ces deux valeurs, le pilier est soumis à de fortes concentrations de contraintes et son écrasement engendre des perturbations considérables dans les ouvrages voisins (soufflage du mur, fluages, envahissement des voies par le charbon....)

- Caractéristiques mécaniques des épontes

La nature des bancs du mur (classés en quatre groupes : figure 14) influe sur la convergence. Plus précisément, le gonflement du mur est d'autant plus important que les épontes sont tendres /20, /21/.

2) Dans les tailles

Le mécanisme de dégradation du toit des longues tailles est illustré sur la figure 15.

On distingue, au moyen des mesures de variations de contraintes, de l'observation des fractures, et des mesures de déformations, quatre phases : /22/

- A partir d'une trentaine de mètres et jusqu'à une dizaine de mètres en avant du front (zone 1), la contrainte verticale augmente lentement.

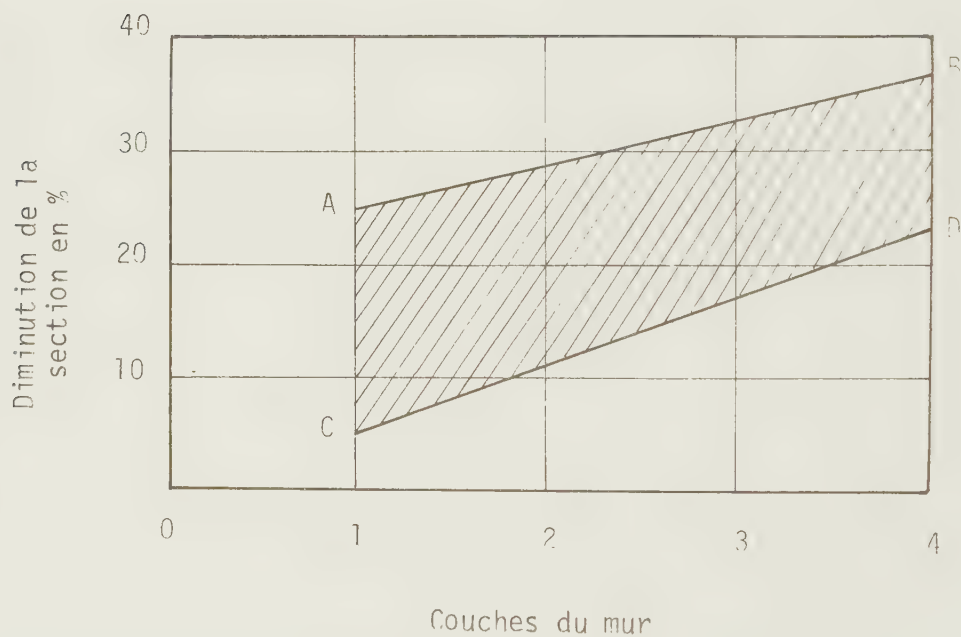
FIG.14

INFLUENCE DE LA NATURE DES COUCHES DU MUR SUR
LA DIMINUTION DE LA SECTION DES VOIES DE TAILLE

d'après HAHN et JACOBI

Légende

- 1 - Grès
- 2 - Schistes gréseux
- 3 - Schistes argileux
- 4 - Radicelle



AB : Diminution totale de la section de la galerie

CD : Diminution de la section du fait du gonflement du mur

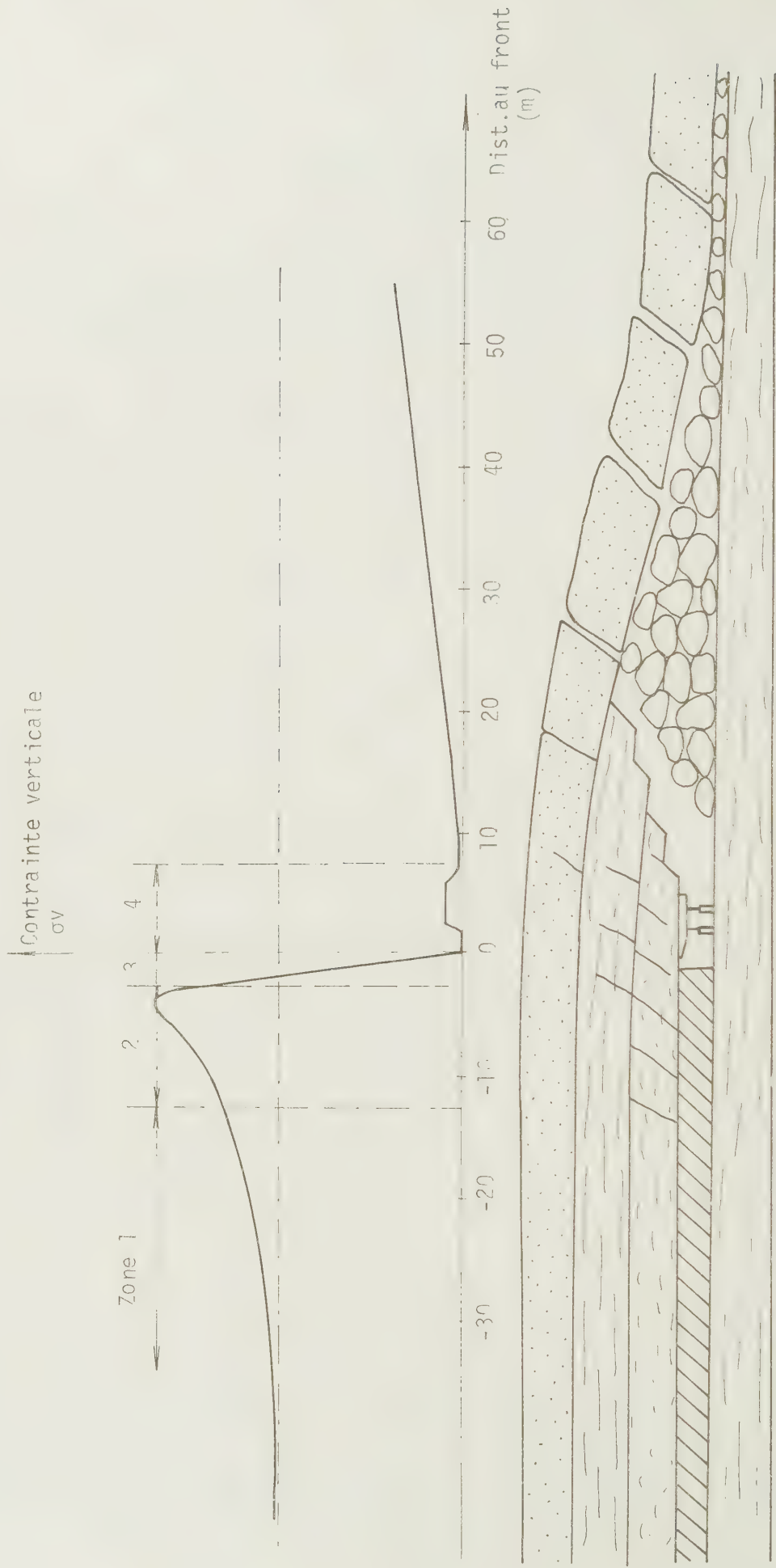


Diminution de la section du fait de l'affaissement du toit et du déplacement des parois.

FIG. 15

SCHEMA DU COMPORTEMENT DU TOIT D'UNE LONGUE TAILLE
FOUDROYEE EN COUCHE MINCE

D'après JOSSEN



On peut considérer que les terrains conservent un comportement élastique.

- Dans la deuxième zone, entre 10 m et 2 m du front, la contrainte verticale atteint son maximum (c'est la zone de culée frontale).

On voit apparaître une expansion parallèle aux bancs, vers le vide créé par la taille. On décèle la première fissuration : les fractures primaires qui se forment alors ont une orientation qui dépend des caractéristiques relatives de la veine et du premier banc du toit. Les déplacements restent faibles.

- Dans la troisième zone, les contraintes décroissent rapidement. Les déplacements sont importants et on sort du domaine de comportement élastique. Un système de fracturation secondaire apparaît dont l'orientation dépend, entre autres, de la stratigraphie du toit.

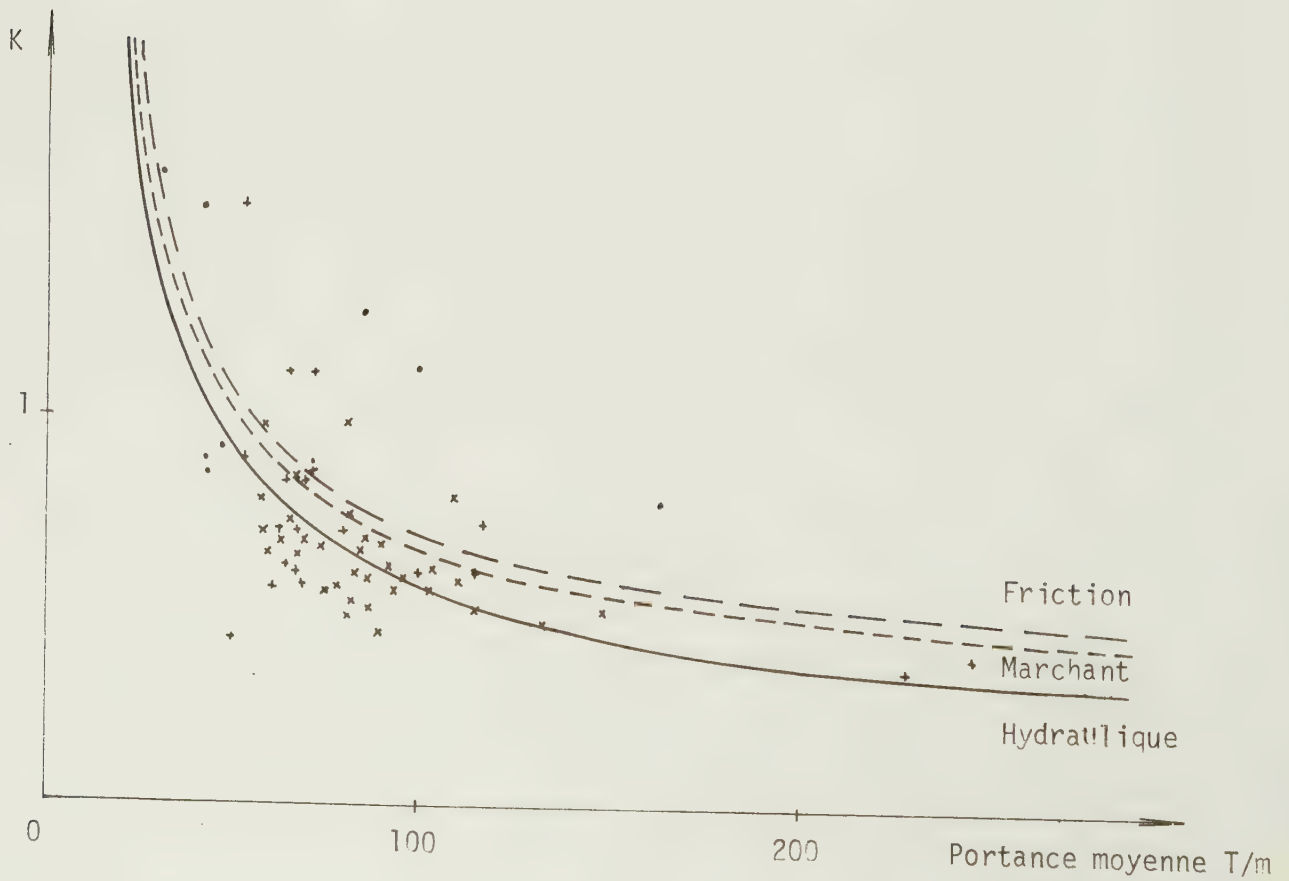
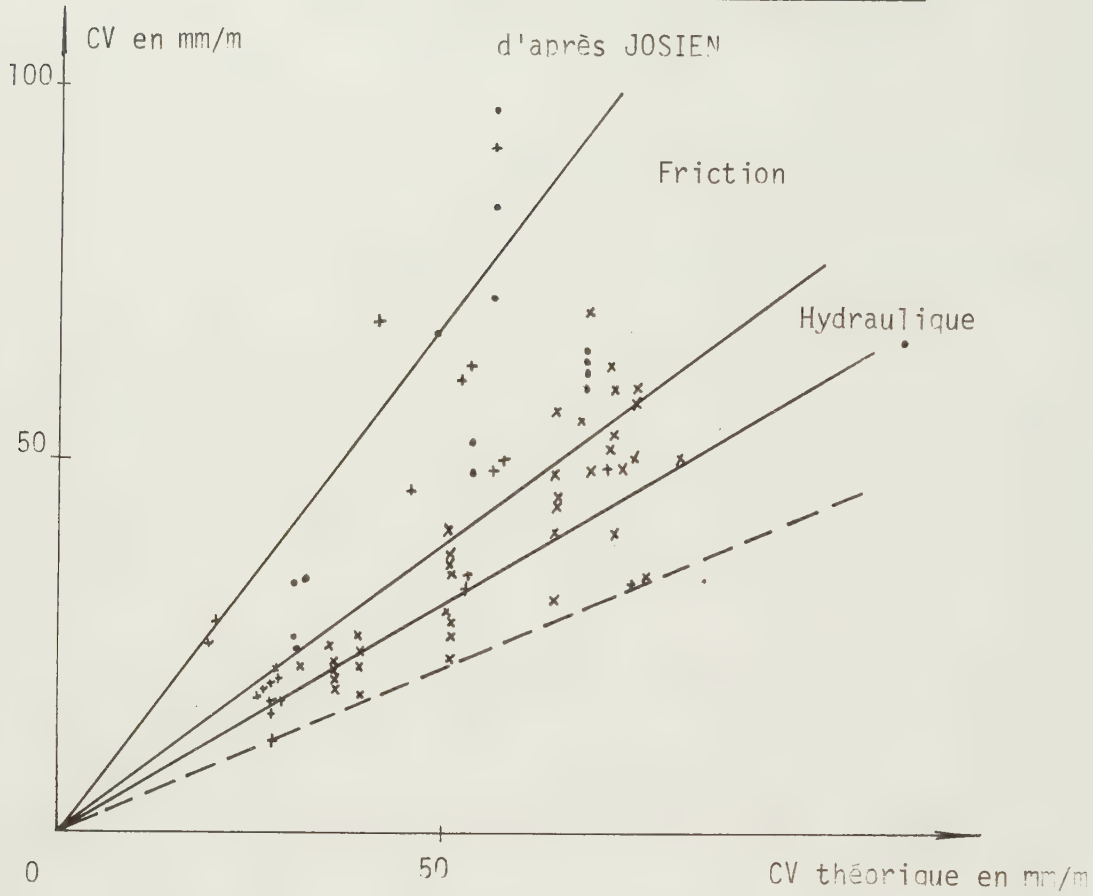
- La dégradation du toit au-dessus de la taille (zone 4) peut être très importante (chutes de blocs, décrochements, etc...). Le toit est alors un assemblage de blocs découpés par les fractures et eux-mêmes fissurés. Les toits monolithiques (constitués de schistes gréseux ou de grès) présentent un système de fracturation qui conduit à la formation de blocs épais, sans arc-boutement et souvent instables (leur basculement peut entraîner le soutènement). Les toits stratifiés au contraire, prennent appui sur le foisonnement du foudroyage et il se crée ainsi une force d'arc-boutement parallèle aux bancs et qui limite les expansions et les déplacements horizontaux. Signalons que dans tous les cas ces derniers sont beaucoup moins importants en amplitude que les convergences.

Outre les caractéristiques mécaniques du toit, un certain nombre d'autres facteurs naturels ont été étudiés.

La déformée du toit (convergence exprimée en mm par mètre d'avancement de la taille) est fonction de l'ouverture w , de la profondeur H et du traitement de l'arrière-taille. La convergence observée est comparée

FIG.16

COMPARAISON DES CONVERGENCES OBSERVEES
AVEC UNE LOI THEORIQUE



à une formule théorique établie à partir de mesures recueillies dans plus de 100 tailles.: $C_v = 200 \times (q_w)^{3/4} \times (P)^{-1/4}$. /23/

On a montré que le rapport k , de la convergence observée à cette convergence théorique est fonction du soutènement et de sa portance PM (figure 16). On écrit $k = \frac{\alpha}{PM} + \beta$

C'est le coefficient β qui est caractéristique du soutènement : il est nettement plus faible pour le soutènement hydraulique individuel que pour le soutènement marchant. On l'explique par le fait que le soutènement marchant favorise la convergence pendant le ripage des piles alors que le soutènement individuel est déplacé élément par élément. On note que ce phénomène est d'autant plus marqué que le toit est peu résistant : la convergence pendant le ripage des piles ne dépasse pas 40 % de la convergence totale pour les toits de schistes durs ou de grès ; elle atteint 50 % avec la présence d'un faux toit et d'une passée charbonneuse ; 70 % pour des épontes friables.

Le soutènement sert donc à contrôler la dégradation du toit et à réduire les mouvements de convergences.

2 - EXPERIMENTATION ANTERIEURES EN COUCHES PUISSANTES

Dans le cas particulier des voies en couches puissantes creusées tout entières dans le charbon, on s'est demandé depuis longtemps si les phénomènes de développement de pressions de terrains étaient identiques à ceux que nous venons de rappeler.

De même, la question se pose de savoir quels rapports existent entre les mécanismes de dégradation du toit dans les tailles classiques et dans les tailles soutirées. Les mêmes lois de prévision des déformations sont-elles applicables ? Les mêmes facteurs de comportement jouent-ils le même rôle ? etc....

En fait, ainsi que nous l'avons signalé, nous avons trouvé peu de traces d'étude de mouvements de terrains en couches puissantes antérieurement à 1970, ni en France ni à l'étranger. En France, les expérimentations les plus poussées ont eu lieu dans le cas d'exploitations par tranches descendantes dans la Loire (quartier de 13ème Michon et 13ème Gruner) (1) /24/, /25/.

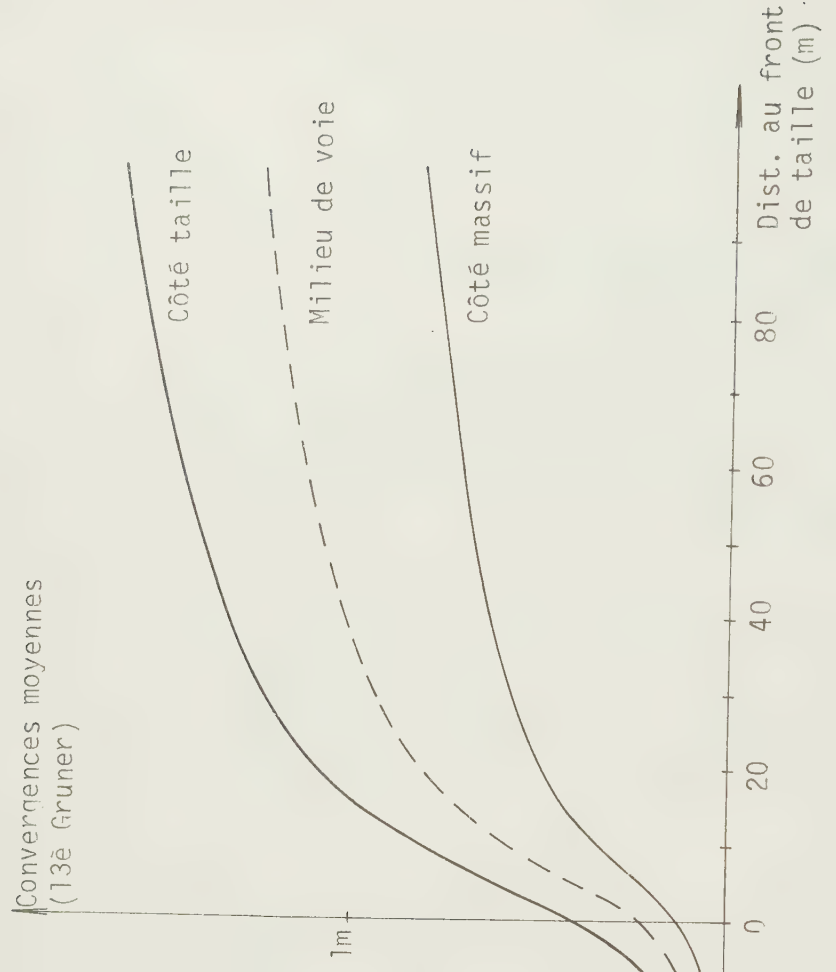
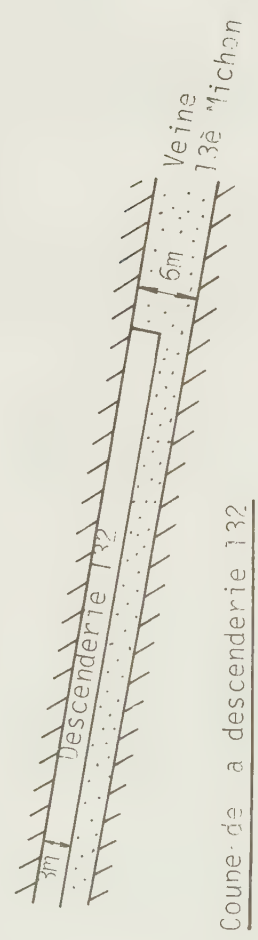
Par ailleurs, une étude a porté début 1971, sur le cas un peu particulier du comportement des voies dans des tranches descendantes soutirées (méthode BOURBAKI pour les forts pendages).

Nous allons résumer les résultats essentiels de ces études qui nous ont servis de guides par la suite.

(1) La descenderie 132 (figure 17) était creusée au toit de la veine 13ème Michon, de 5 à 6 m de puissance ; elle était destinée à assurer la desserte pour la prise de la première tranche. Elle n'a été étudiée qu'au creusement.

La voie de tête de 13ème Gruner, située dans des conditions analogues, a été uniquement étudiée pendant le passage de la taille, courant 1958.

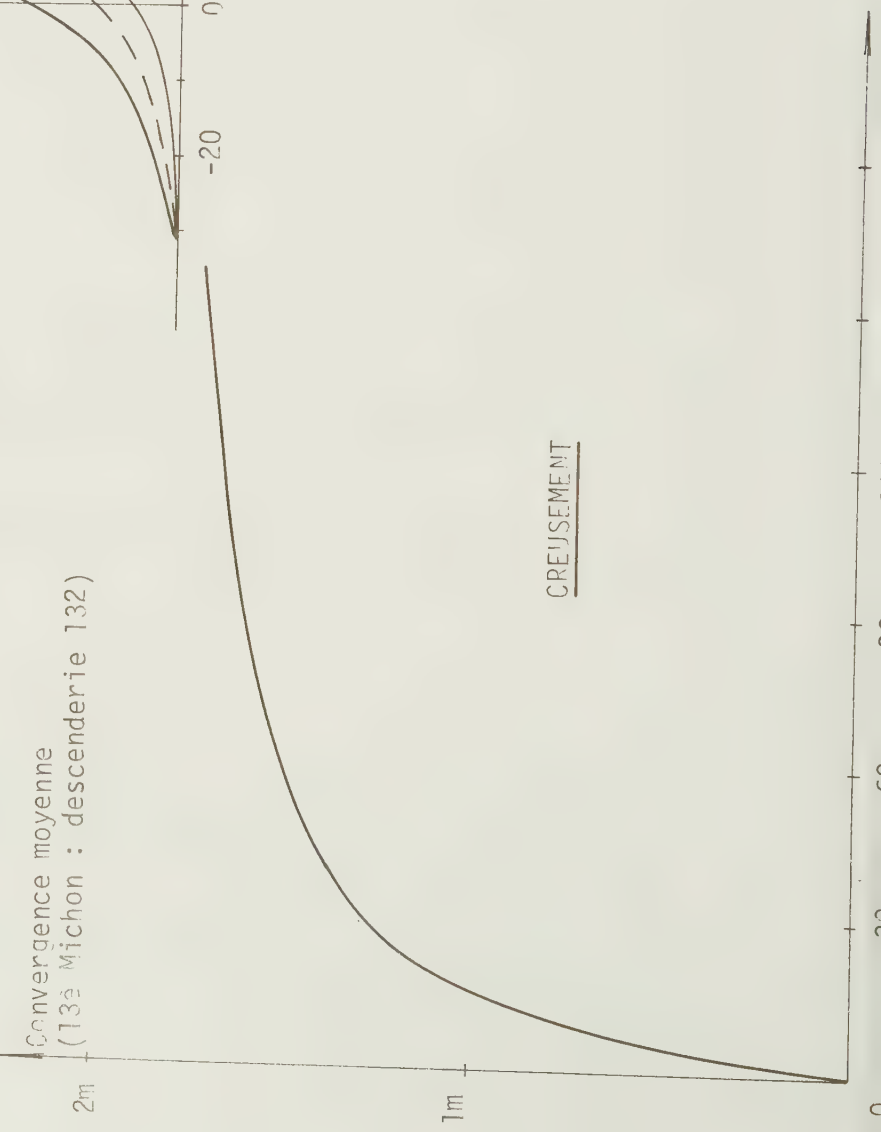
MOUVEMENTS DANS LES VOIES DE DESSERTE LORS DE L'EXPLOITATION
D'UNE TRANCHE EN COUCHES PUISSANTES



Convergence moyenne
(132 Michon : descenderie 132)

PASSAGE DE LA TAILLE

CREUSEMENT



1) Tranches descendantes sans soutirage

Les campagnes de mesure ont permis de mettre en évidence la similitude d'évolution des mouvements entre les couches minces et les couches épaisses exploitées par tranches descendantes (sans soutirage). Au cours des différentes phases des travaux, l'allure générale des courbes est en effet comparable (figure 17).

- Logarithmique au creusement
- Courbe en S au passage de la taille.

Par ailleurs, on montre que pour une station donnée, les lois d'hérédité des mouvements sont applicables : il existe une bonne corrélation par exemple entre la convergence mesurée 15 jours après le creusement et celle mesurée après 7 jours.

On peut donc utiliser ces paramètres pour les comparaisons entre stations et d'une façon générale, on peut appliquer les mêmes méthodes d'études que dans les chantiers classiques.

Cependant, des différences importantes ont été relevées :

. Tout d'abord, l'amplitude des déformations est considérable, beaucoup plus grande que celle qu'on avait coutume d'observer auparavant.

. Au passage de la taille, on constate que les convergences d'avant-passage (entre -30 m du front et le front lui-même) sont plus élevées que dans les voies classiques : le rapport $\frac{C_v (0, + 50m)}{C_v (-30m, 0)} = 3,4$ au

lieu de 8,2 habituellement.

Parmi les explications avancées, nous retiendrons celle qui tenait à une nature différente des terrains (notamment à la sole) autour de la galerie .

. La comparaison des convergences avec les mouvements absolus des épontes, (mesurés en relevant l'évolution des cotes de chaque broche) ont fait apparaître que l'essentiel des déformations provenait du mur.

. L'augmentation de la densité du soutènement (diminution de l'espace inter-cadre) n'a pas semblé influencer les déformations. En revanche, les différences de terrains rencontrés ont joué un rôle important (en particulier les accidents tectoniques).

. L'ampleur des mouvements oblige à assurer dans les galeries un entretien continu surtout sous la forme de "rabaissage" (ou "rebanchages") de la sole. Ces travaux provoquent des impulsions sur les courbes de convergences. L'importance quantitative de ces impulsions est difficile à préciser, dans la mesure où elles sont parfois compensées par un freinage naturel des mouvements (observé une dizaine de jours après le creusement).

D'une façon générale, il est impossible de dissocier clairement la part des déformations consécutive à l'entretien seul et celle qui découle de l'évolution normale des travaux.

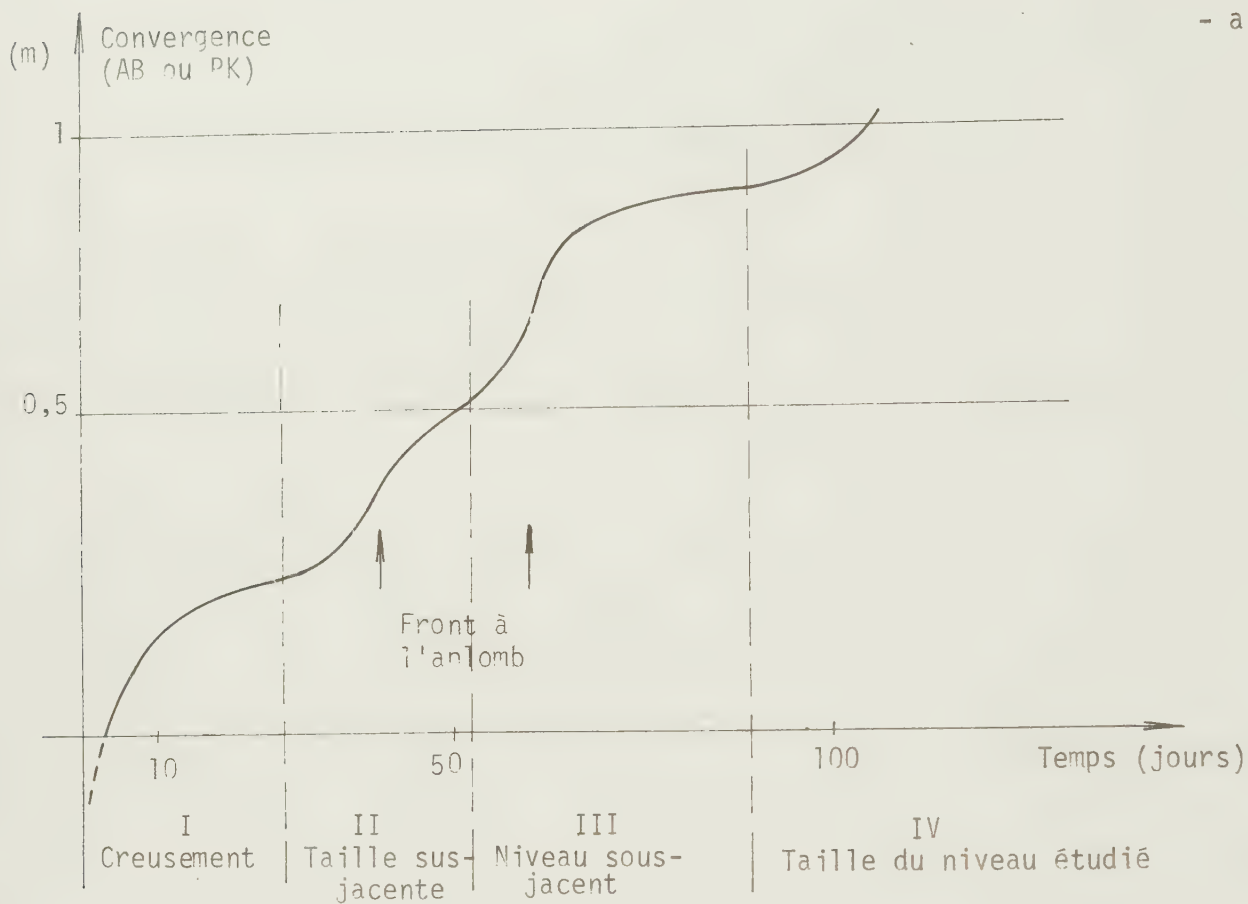
2) Tranches descendantes soutirées

La méthode d'exploitation BOURBAKI utilisant les tranches descendantes soutirées et foudroyées dans les couches très pentées (figure 7) ont fait l'objet d'une étude séparée. Celle-ci a été réalisée aux Houillères de la Loire, dans la couche de 3ème Beaubrun (quartier du Bouchage, exploitation Varenne) qui a une pente de 45 à 70° et une puissance de 8 à 12 mètres, à 800 m de profondeur.

Les mesures mises en oeuvre (convergences verticales et horizontales, expansion du toit...) ont permis de connaître les déformations particulières subies par les galeries horizontales en couches qui desservent les tailles /26/.

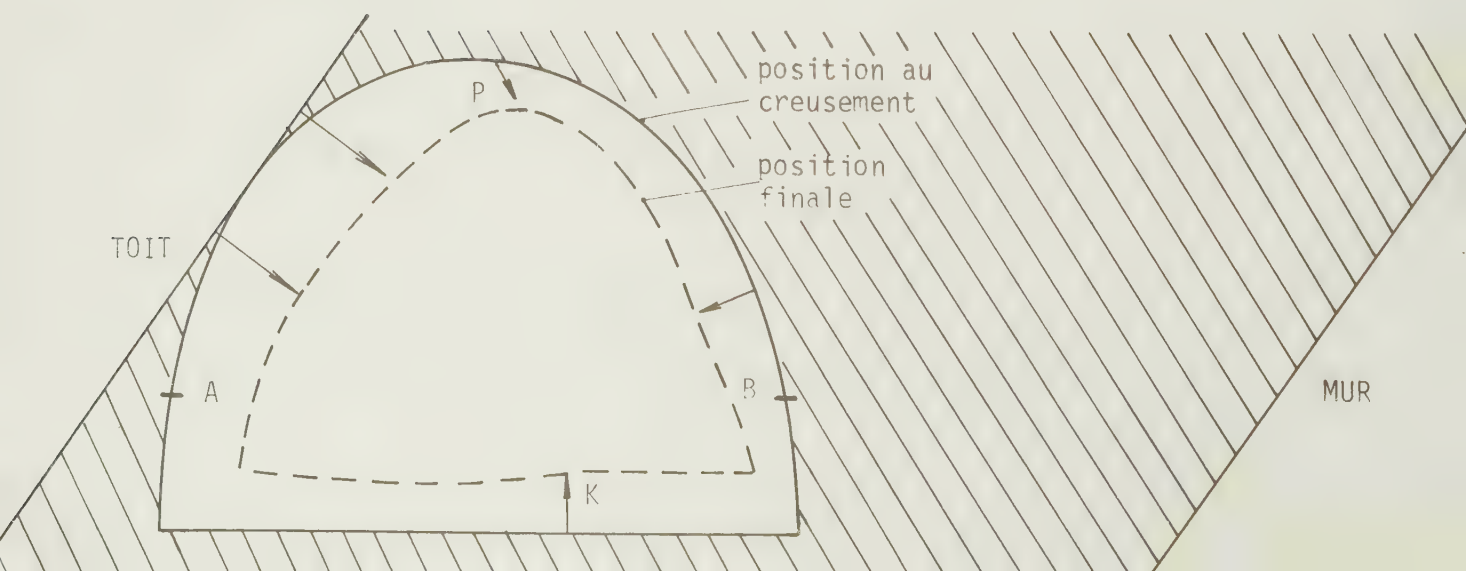
REPRESENTATION DES DEFORMATIONS DANS LE CAS DES
TRANCHES DESCENDANTES SOUTIREES (Méthode Bourbaki)

FIG.18



MOUVEMENTS DANS LA SECTION DE MESURE
ET DEFORMATION DU SOUTÈNEMENT

- b -



Le mécanisme élémentaire de ces déformations a pu être rattaché aux différentes phases des travaux :

- creusement de la galerie étudiée
- progression du front de creusement du niveau sous-jacent
- progression du front de taille du niveau sus-jacent
- progression du front de taille de la tranche étudiée (1).

Bien que ces influences soient parfois superposées, on a pu les dissocier dans un nombre suffisant de cas pour établir (figure 18a l'évolution caractéristique moyenne d'une station de mesure pendant sa durée de vie (soit une centaine de jours).

Le creusement de la voie est responsable de 20 à 50 % des déformations totales qui sont de l'ordre du mètre). Celles-ci se répartissent pendant toute cette phase (environ un mois) sur une courbe amortie d'allure logarithmique.

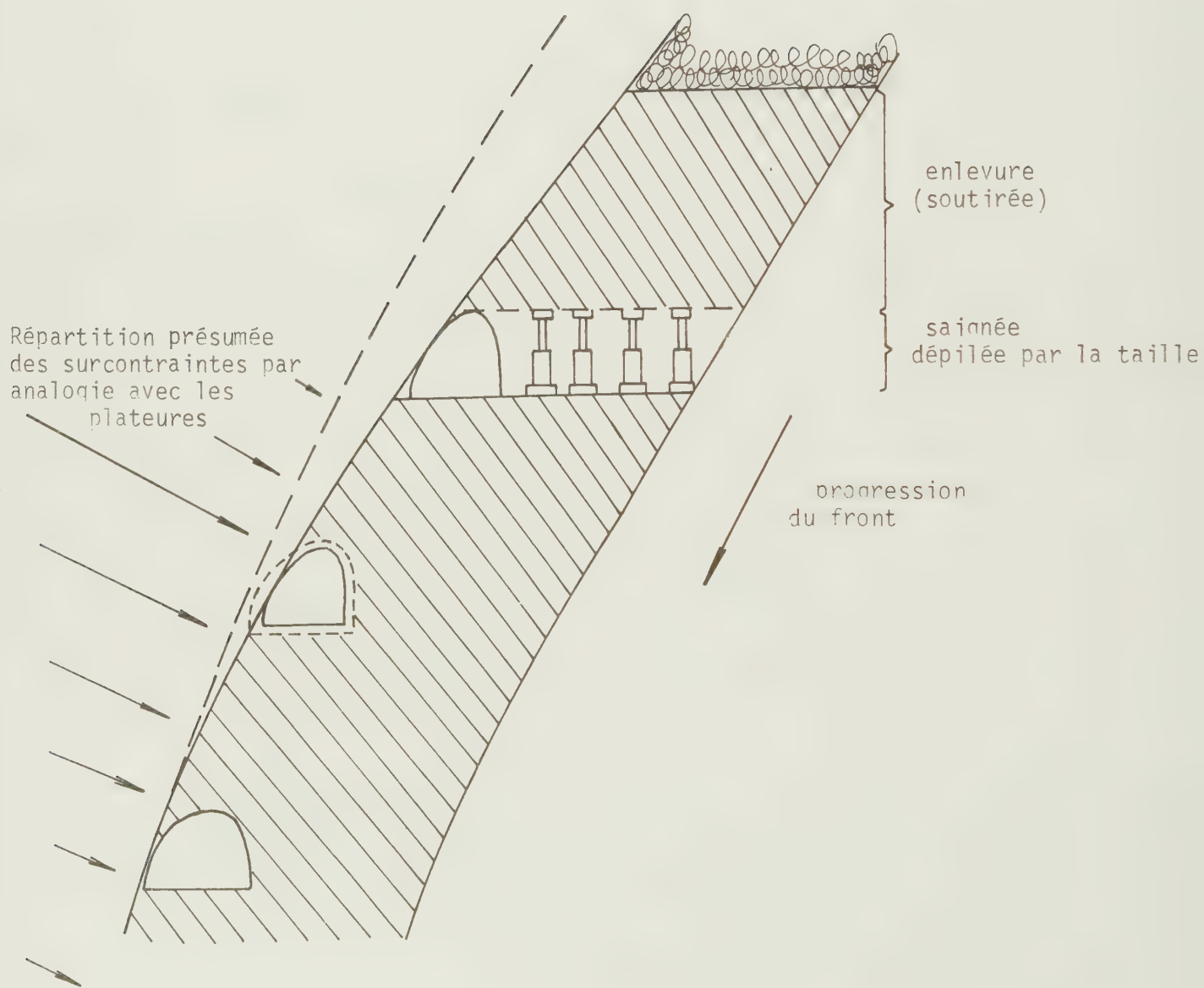
La progression de la taille sus-jacente et le creusement du niveau sous-jacent conduisent tous les deux à une courbe de déformation en S, dont le point d'inflexion correspond approximativement au passage du front considéré à l'aplomb de la station, l'influence de chacun de ces fronts est sensible assez longtemps avant son arrivée à l'aplomb : un à deux mois (soit avec un décalage maximum de 100 m) pour la taille sus-jacente et de 5 à 20 jours pour le traçage sous-jacent. La conjugaison de ces deux influences représente à elle seule de 50 à 75 % des mouvements globaux.

L'approche du front de la taille dans la tranche étudiée intervient pour une faible part dans l'accroissement des déformations (moins de 10 %). Son influence se fait sentir seulement à une vingtaine de mètres et l'allure de la courbe correspondante est exponentielle (semblable aux courbes classiques d'avant passage taille).

(1) Rappelons en effet que trois tranches successives sont l'objet de travaux simultanément, comme nous l'avons signalé dans le chapitre I.

FIG. 19

DEVELOPPEMENT DES PRESSIONS DE TERRAINS DANS
LES EXPLOITATIONS EN TRANCHES DESCENDANTES SOUTIREES



Par ailleurs, la figure 18b montre la répartition des déformations dans une section de mesure, entre les mouvements horizontaux et verticaux. La convergence horizontale est plus forte. Elle provient pour une bonne part (15 à 30%) de l'expansion du toit de la couche qui est le siège de délitage et de décollements importants comme en témoignent les taux d'expansions élevés (7 %). Le soulèvement de la sole qui n'est contenue par aucun soutènement est responsable d'une grande partie des mouvements verticaux. Autrement dit, la convergence verticale doit être assimilée à un fluage du charbon sous l'effet du rapprochement du toit qui est à l'origine du phénomène.

On peut rapprocher cette observation avec la remarque que nous avons faite concernant l'influence prépondérantes des travaux dans les tranches voisines. On est ainsi conduit à considérer l'ensemble de l'exploitation du point de vue des pressions de terrains, comme une exploitation avec un long front descendant dans la direction du pendage. Chaque tranche correspond alors à une enlevure géante de 10 m à l'intérieur de laquelle on a étudié le régime de déformation. Dans cette optique, la voie de desserte se comporte comme une saignée en bas de l'enlevure, toutes considérations d'échelles mises à part (figure 19).

Le comportement des voies de chaque tranche est donc assez particulier et diffère sensiblement de celui que nous aurons l'occasion d'observer dans les cas du soutirage de toute la couche en plateure. Le point commun entre ces deux types de chantier réside dans le fait que la galerie est entourée de tous côtés par une masse considérable de charbon.

CONCLUSION

Une première remarque est que nous avons relevé une parenté évidente dans les divers comportements que nous venons de décrire, malgré des différences considérables de conditions naturelles et d'exploitation.

Aussi bien en couches minces que dans les deux formes d'exploitation des couches épaisses observées, les voies semblent obéir à des mécanismes de déformations finalement assez voisins.

Les courbes obtenues au creusement (courbes d'allure logarithmique) ou sous l'influence d'un front de taille (courbes en S) sont qualitativement très proches dans tous les cas et même l'interprétation des mécanismes, bien que se situant à une échelle différente peut se ramener à des modèles usuels (comme le montre le cas de la méthode BOURBAKI).

Soulignons au passage que les mesures habituelles de convergence et de fluage se sont montrées bien adaptées pour rendre compte de ces phénomènes.

Il semble cependant que les galeries en couches épaisses soient particulièrement sensibles à la nature du terrain environnant et en l'occurrence au comportement des grandes quantités de charbon qui entourent les chantiers. On peut notamment prévoir que cet élément va jouer un rôle actif dans le cadre de la technique du soutirage intégral. Il va également influencer la méthode expérimentale utilisée, sur laquelle nous allons maintenant donner quelques indications.

PLAN DU CHAPITRE III '

LES MESURES

LE CADRE EXPERIMENTAL

MESURE DE MOUVEMENTS DE TERRAINS

- 1) Convergence et fluage
- 2) Les mouvements profonds : mesures d'expansion

AUTRES MESURES

- 1) Mesures sur le soutènement en taille
- 2) Mesures de pressions de terrains
- 3) Caractérisation de l'entretien

Campagnes de mesures en voies :

Houillères	Siège	Chantier	Couche	Phase étudiée	Nbr de stations	Dates
Blanzzy	Darcy	Voie de base I	4° Nord	AV.P.	5	Juil. 70 à Mai 71
"	"	Voie de tête I	"	AV.P.	4	"
"	"	Voie de base GA	4° Ouest	AV.P.	4	Aout 70 à Avril 72
"	"	Voie de tête GA	"	AV.P.	5	"
"	"	Voie de base D	4° Nord	C, AV.P.	8	Juin 70 à Nov. 72
"	"	Voie de tête CD	"	C, AV.P.	13	Avril 70 à Nov. 72
"	"	Voie de base C	"	C, AV.P.	6	Avril 70 à Oct. 72
"	"	Base T	4° Sud	C, AV.P.	10	Nov. 71 à Aout 73
"	"	Tête T	"	C, AV.P.	6	Fev. 72 à Aout 73
"	"	Tête J	4° Nord	C, AV.P.	7	Nov. 72 à Aout 73
"	"	Base L	"	C	2	Janvier-Février 74
Loire	Montrambert	Voie de base panneau 12	Flottard 420	C, AV.P.	8	Mai 70 à Déc. 71
"	"	Voie de tête panneau 12	"	AV.P.	9	Avril 71 à Juin 72
Cévennes	Ricard	Voie de base taille 2	1ère	AP.P.	4	Oct. 72 à 1974
"	"	Voie de base taille 3	"	C	5	Fév. 73 à 74

C : creusement

AV.P. : avant passage taille

Ap.P : après passage taille

Campagnes tailles:

Blanzzy	Darcy	Taille D	4° Nord			Sept.-Oct. 71
"	Rozelay	Taille S3B	2ème couche			Mai-Juin 72
Cévennes	Ricard	Taille 2	1ère couche			Septembre 72

LES MESURES

Nous avons abordé l'étude des couches épaisses avec des moyens de mesure identiques dans leur principe à ceux employés dans les exploitations classiques en couches minces. Leurs avantages sont nombreux (simplicité, rapidité de la mesure etc...). Leur efficacité a été démontrée dans des expérimentations aux objectifs similaires aux nôtres comme nous venons de le rappeler.

Toutefois, les conditions particulières propres aux chantiers fréquentés ont nécessité l'adaptation des dispositifs habituels. Nous nous proposons de les décrire dans ce chapitre afin d'alléger la suite de l'exposé.

Par ailleurs, nous donnons quelques indications sur le cadre dans lequel les expérimentations ont été effectuées.

I - LE CADRE EXPERIMENTAL

Ainsi que nous l'avons annoncé, nous avons principalement étudié le cas de couches peu inclinées exploitées par la méthode du soutirage intégral.

Les mesures sur lesquelles nous nous sommes appuyés, portent sur trois tailles et quinze voies de desserte (totalisant 96 stations).

La puissance a varié de 3 à 18 m suivant les stations de mesures. Quant à la profondeur, elle est restée comprise entre 800 et 900 m.

Il faut ajouter les mesures effectuées simultanément dans les galeries au rocher, sous-jacentes aux différents panneaux (et servant généralement d'infrastructure d'accès en couche) : quatre plans inclinés ont été ainsi étudiés au siège de Darcy :

- . Les plans Albert et Cyprien en même temps que le panneau I
- . Le plan Casimir en même temps que le panneau T
- . La recoupe Cirrus en même temps que le panneau J

Enfin, nous avons utilisé quelques mesures relevées dans des exploitations par tranches descendantes en plateures, soit foudroyées (Aquitaine) soit remblayées (Cévennes).

Houillères	Siège	Chantier	Couche	Tranche	Phase étudiée	Nbr de stations	Dates
Aquitaine	Tronquié	I ₂ 7	Veine I supér.	1ère	C, Av.P	25	Fév. 71 à Aout 71
"	"	I ₂ 9	"	"	"	16	Mars 71 à Aout 71
"	Cagnac	J ₁ 6	J	"	Av. P	13	Janv. à Juil. 72
Cévennes	Les Oules	Voie de tête taille 510	5°	1ère au toit	Ap. P	5	Déc. 70 à Mai 71
"	"	"	5°	2ème au mur	Ap. P	5	Oct. 71 à Fév. 72

II - MESURE DES MOUVEMENTS DE TERRAINS

1) Convergences et fluages

La convergence en voie est mesurée habituellement par le rapprochement de deux broches de bois (qui constituent un doublet), ancrées perpendiculairement aux épontes.

Le fluage correspond à la même définition, mais pour des broches ancrées dans les parements des voies, parallèlement aux épontes.

En réalité, dans le cas des chantiers que nous avons étudiés, les épontes étaient inaccessibles et il était nécessaire de fixer les broches de mesure directement dans le charbon autour de la voie.

Deux difficultés ont alors surgi :

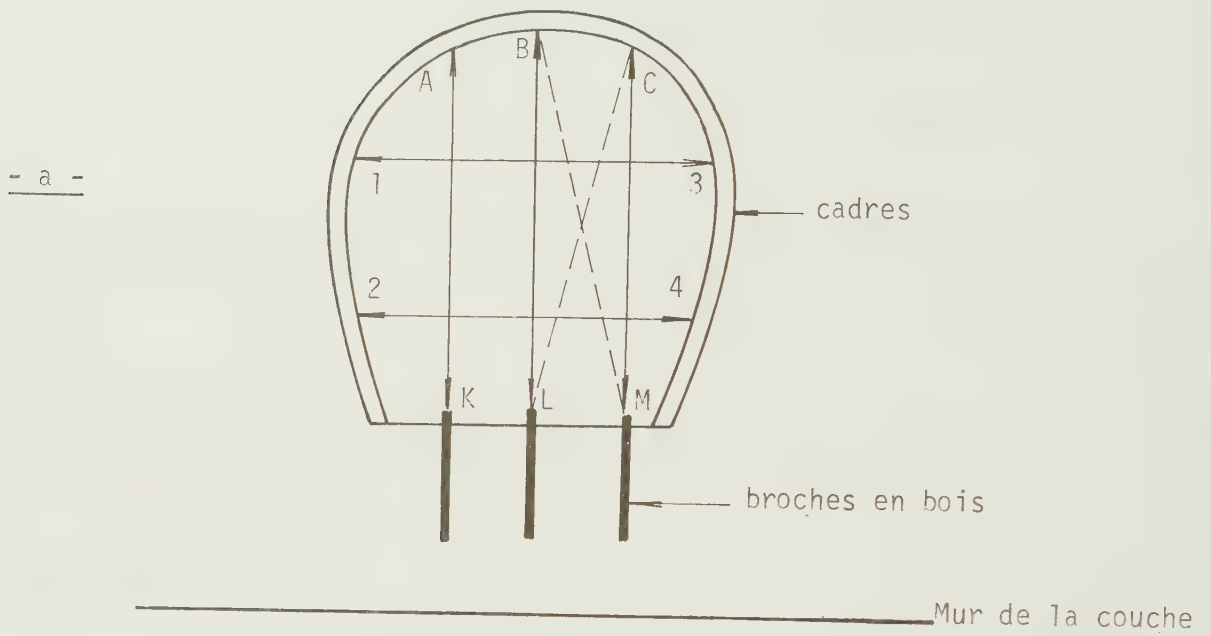
- En couronne et aux parements, la déconsolidation du charbon devient à la longue très grande, ce qui entraîne la chute des broches (soulignons que les expérimentations en voies se prolongent souvent pendant plus de 18 mois).
- A la sole, les nombreux travaux d'entretien provoquent l'arrachage des broches.

Pour pallier ces inconvénients, nous avons remplacé la plupart du temps les broches en couronne et aux parements par des repères peints sur les cadres du soutènement. Le fluage mesure donc le rapprochement latéral des pieds de cadre plutôt que le resserrement des parements. En réalité, étant donné l'amplitude des mouvements l'erreur ainsi introduite est, au plus, du même ordre que l'erreur systématique de mesure.

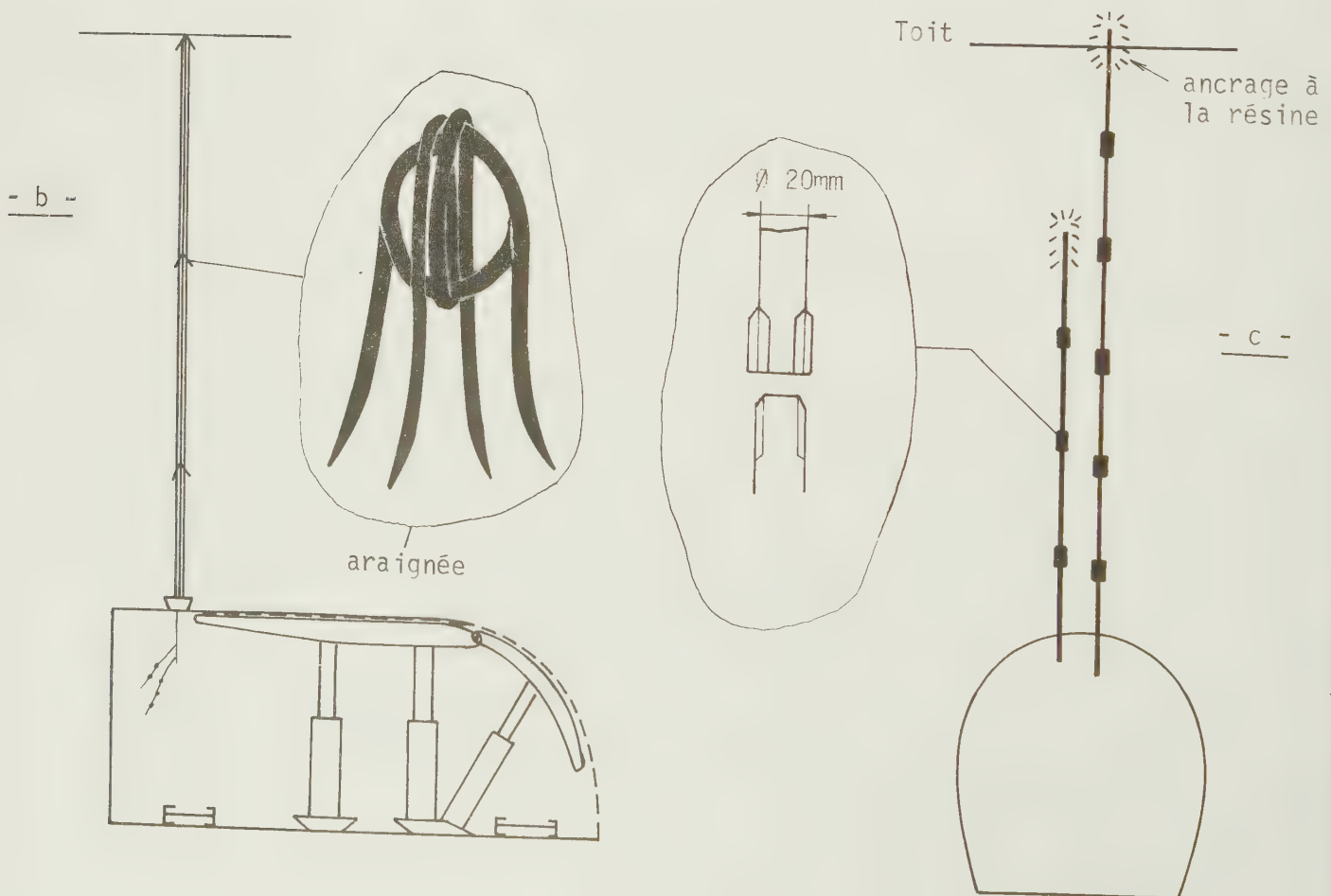
Pour ce qui est de la sole, nous avons utilisé des broches assez longues (environ un mètre), susceptibles d'être coupées sans être arrachées à chaque rabaissage.

FIG. 20

STATION DE MESURES DE MOUVEMENTS SUPERFICIELS (Convergences et fluages)



DEUX DISPOSITIFS DE MESURES DE MOUVEMENTS PROFONDS (expansions)



Cependant, les entretiens très importants (notamment les remises à section totales) provoquent inévitablement la destruction de la station de mesure. On a recours alors à la technique de la "double mesure", qui consiste à prendre une mesure à l'instant qui précède la destruction de la station puis à en prendre une nouvelle aussitôt après la remise en place des doublets. A quelques heures près, la continuité des mesures est alors assurée (1).

La figure 20a représente le schéma type d'une station. A titre de contrôle, et afin de pouvoir reconstituer les mesures absentes on prend des mesures croisées BM et CL.

En taille, les problèmes sont beaucoup plus simples, en raison de la durée de vie très brève (quelques jours) des doublets. On utilise les procédés de mesure classiques en couches minces.

2) Les mouvements profonds : mesures d'expansion

L'expansion mesure le déplacement relatif de deux points d'ancrage situés au coeur du massif à des distances de la paroi différentes, d_1 et d_2 . Si M_1 est le déplacement du point d'ancrage à d_1 et M_2 celui de son homologue à d_2 , l'expansion entre d_1 et d_2 est donnée par la différence $M_1 - M_2$. On calcule souvent le taux d'expansion entre d_1 et d_2 qui s'exprime $\frac{M_2 - M_1}{d_1 - d_2}$

Deux techniques sont utilisées couramment :

1) Les "araignées" sont des griffes métalliques attachées à un fil d'acier (de préférence) et qu'on accroche dans un trou à la profondeur désirée (voir figure 20b). Le dispositif est simple, peu encombrant et permet d'autre part, à l'aide d'un seul trou, de mesurer des expansions à différents niveaux. Il a été utilisé dans les tailles. Mais, dans le cas de terrains très déconsolidés, les

(1) Cette technique exige la présence presque continuelle sur les chantiers du personnel chargé des mesures.

araignées sont difficiles à fixer ou se décrochent rapidement. C'est pourquoi dans les voies on a du mettre en oeuvre un autre dispositif :

2) Des éléments de boulons métalliques, adaptables les uns aux autres sont ancrés à l'aide d'une cartouche de résine, au fond d'un trou foré à la longueur voulue. Ce procédé présente l'inconvénient de nécessiter la foration d'un trou pour chaque point dont on mesure le déplacement, autrement dit de deux trous pour une seule mesure d'expansion.

III - AUTRES MESURES

1) Mesures sur le soutènement en taille

Dans les tailles, les mesures classiques de pression de vérins ont été effectuées : pressions réelles de pose et de dépose (ripage) /27/.

On connaît par ailleurs les charges nominales de pose et de coulissement (la charge pour une pile correspond au produit : pression X section utile des vérins X nombre de vérins).

On calcule ainsi un certain nombre de paramètres caractéristiques :

. Le rendement hydraulique (à la pose ou à la dépose) est le rapport de la charge effective (de pose ou de dépose) à la charge nominale (de pose ou de coulissement).

. La portance (nominale ou effective) est le rapport de la charge (nominale ou effective) à la surface de toit supportée par la pile. On peut l'exprimer aussi en charge par mètre de front.

. La contrainte nominale de contact au toit correspond au quotient de la charge de coulissement par la surface des chapeaux (ou des semelles, s'il s'agit de la contrainte au mur). On peut calculer les contraintes effectives analogues.

Etant donné les sollicitations subies par le soutènement dans les tailles soutirées, on a également mesuré l'inclinaison des vérins par rapport à la verticale, à la pose puis à la dépose.

2) Mesures de pressions de terrains

Les contraintes dans les terrains ne sont pas en général mesurées directement ; on ne relève que le sens de leurs variations.

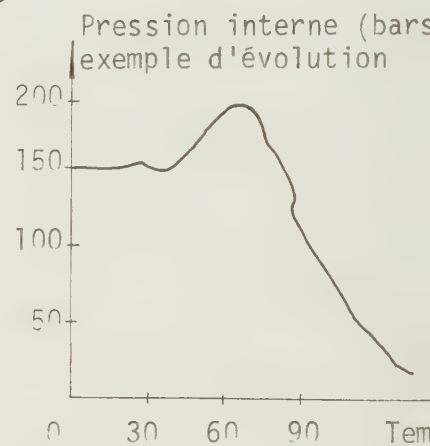
FIG. 21

- a - MESURES PAR CAPSULES PRESSIOMETRIQUES DU TYPE BOM

Coupe a

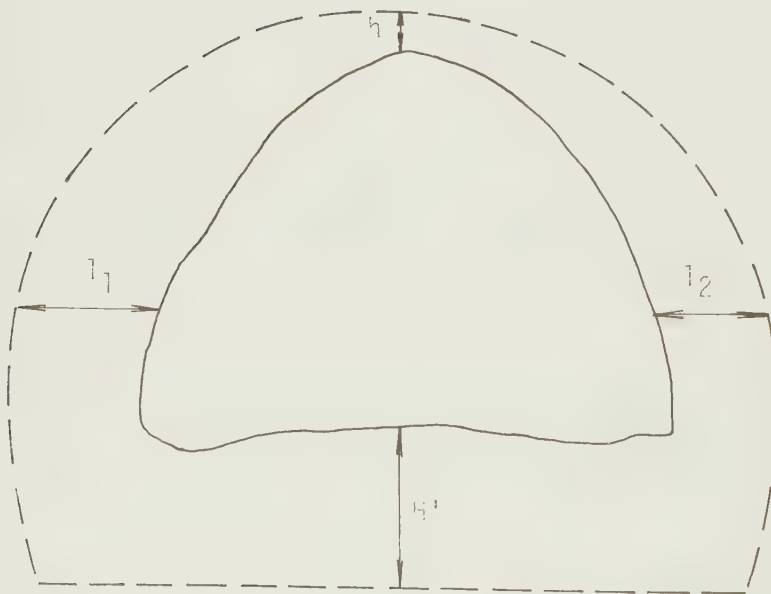
Coupe b

- ① Tube de liaison au manomètre
- ② Tube de cuivre aplati
- ③ Enrobage



- b - MESURES DE L'ENTRETIEN

- Relevage -



$h + H' = \text{hauteur relevée}$
 $(l_1 + l_2 = \text{largeur relevée})$

- Rabaissage seul -



H hauteur rabaissée

Nous avons utilisé les capsules pressiométriques du type BOM-CERCHAR (figure 21a).

Rappelons simplement qu'elles sont mises en charge de façon à ce que leur pression interne équilibre approximativement celle du massif. Quand cette dernière augmente, la pression mesurée au manomètre suit la même évolution, puis diminue brusquement dès que les terrains autour de la capsule sont totalement fissurés.

Si la pression dans une capsule diminue constamment dès la pose, cela peut résulter soit d'un mauvais fonctionnement, soit de son installation dans un massif déjà déconsolidé.

3) Caractérisation de l'entretien

Dans un certain nombre de galeries, des relevés systématiques de l'entretien ont été effectués.

Ils consistent à évaluer en chaque point de la voie, l'épaisseur de charbon enlevée à la sole au cours des travaux de rabaissage. Ces valeurs sont ensuite cumulées.

De même, lors des remises à section totales (encore appelées "relevages"), on estime la valeur de l'augmentation du diamètre, dans les directions verticales et horizontales (figure 21b).

On obtient ainsi les "hauteurs rabaissées" et "hauteurs relevées" en chaque point, pendant une période quelconque. On peut établir un diagramme cumulé le long de la voie.

Ces relevés sont très imprécis. Ils fournissent simplement un ordre de grandeur du volume de matière extrait par l'entretien. Ils permettent aussi d'évaluer "l'agrandissement" de la galerie, afin de le comparer à son "rétrécissement", représenté par les convergences et fluages.

En résumé, nous avons pu disposer d'un volume d'expérimentation important et de méthodes d'étude éprouvées et dans l'ensemble bien adaptées aux problèmes posés aussi bien en voie qu'en taille.

Nous allons maintenant présenter les résultats obtenus, d'abord en ce qui concerne le mécanisme de déformations dans les voies. Nous nous efforcerons de dégager toutes les conséquences et applications qui résultent de la connaissance de ce mécanisme.

Puis nous passerons au problème des tailles soutirées, pour lesquelles nous adopterons un plan identique : mécanisme de déformations et applications.

PLAN DU CHAPITRE IV

MECANISME DE DEFORMATION DANS LES VOIES DES COUCHES PUISSANTES

A - INTRODUCTION ET OBSERVATIONS EXPERIMENTALES

- 1) Présentation de l'ensemble des résultats
- 2) Analyse des résultats
- 3) Etude des expansions
- 4) Type de comportement

B - ETUDE DU REGIME PERMANENT

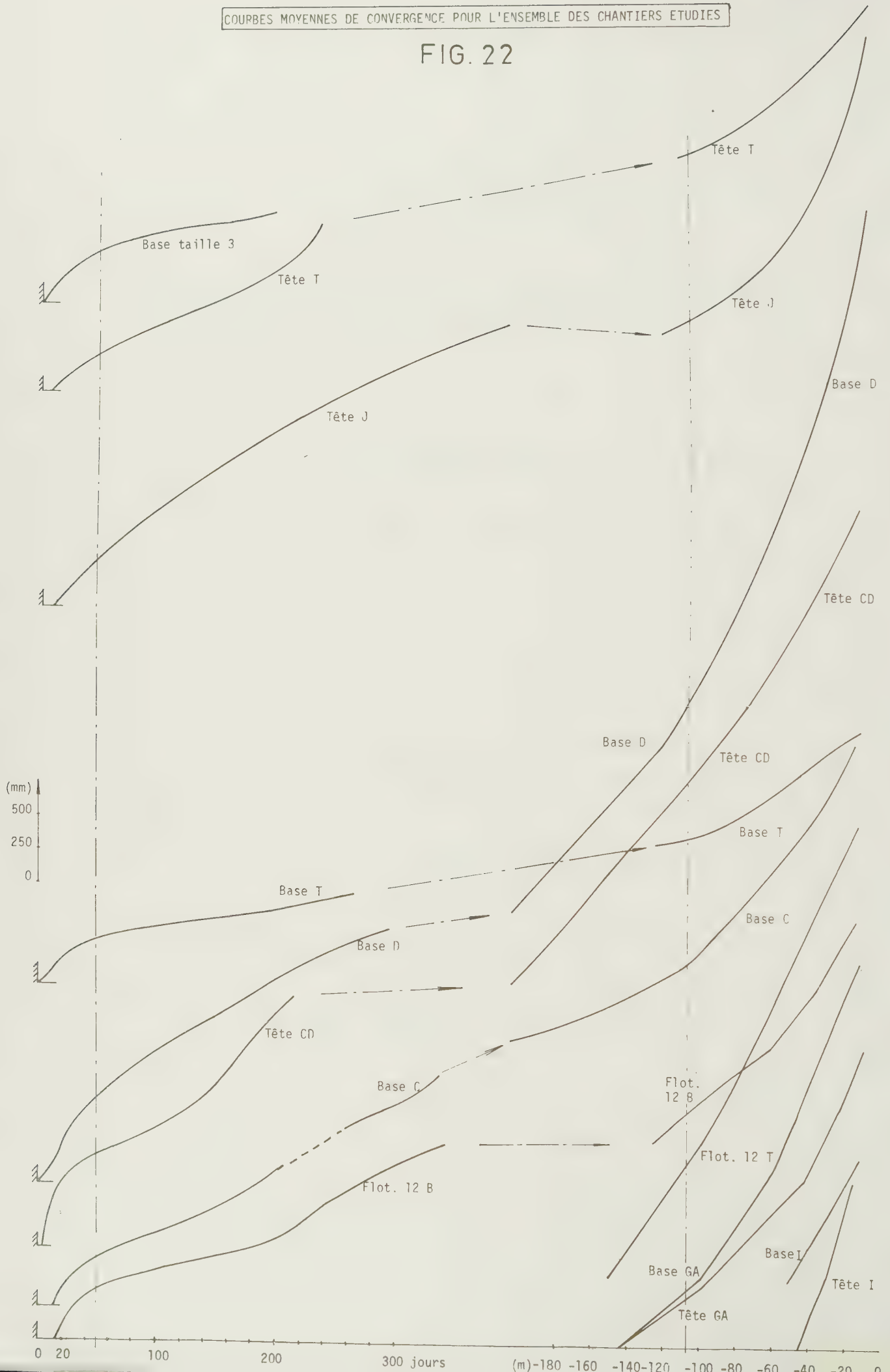
- 1) Description du mécanisme
- 2) Essai de caractérisation des paramètres
- 3) Conséquences

C - ETUDE DE L'ENSEMBLE DU COMPORTEMENT

- 1) Etude du redémarrage
- 2) Etude de la première phase du creusement
- 3) Etude du passage de la taille
- 4) Cas des exploitations par tranches descendantes

D - CONCLUSION

FIG. 22



MECANISME DE DEFORMATION DANS LES VOIES DES COUCHES PUISSANTES

A - INTRODUCTION ET OBSERVATIONS EXPERIMENTALES

1) Présentation de l'ensemble des résultats

Nous avons rassemblé sur une même figure 22, toutes les courbes moyennes de convergences obtenues au cours des diverses campagnes de mesures menées dans les couches puissantes soutirées. Exception faite pour les voies du panneau T de Blanzky (de puissance très irrégulière) et de base taille 3 (puissance de 5 m) toutes les galeries étaient situées dans des couches de puissances moyennes comparables (de l'ordre de 10-12 m) et toutes étaient à des profondeurs équivalentes (8 à 900 m).

Quand les mesures se poursuivent après le démarrage de la taille, les courbes moyennes sont établies en fonction de la distance au front de taille (comptée toujours négativement dans le cas de ces méthodes rabattantes). Nous les avons reportées à la suite de la courbe de creusement correspondante, en prenant une échelle des abscisses telle que 20 m pour la distance au front de taille représente 30 jours sur l'échelle des abscisses au creusement (en effet ces exploitations avancent toutes en moyenne d'une vingtaine de mètres par mois). Nous représenterons ainsi le comportement dans le temps d'une section de galerie moyenne pendant toute sa durée de vie (du creusement au foudroyage).

Certaines voies ont été étudiées au passage de la taille mais pas au creusement. Ajoutons que les fluages subissent la même évolution avec des amplitudes du même ordre.

2) Analyse des résultats

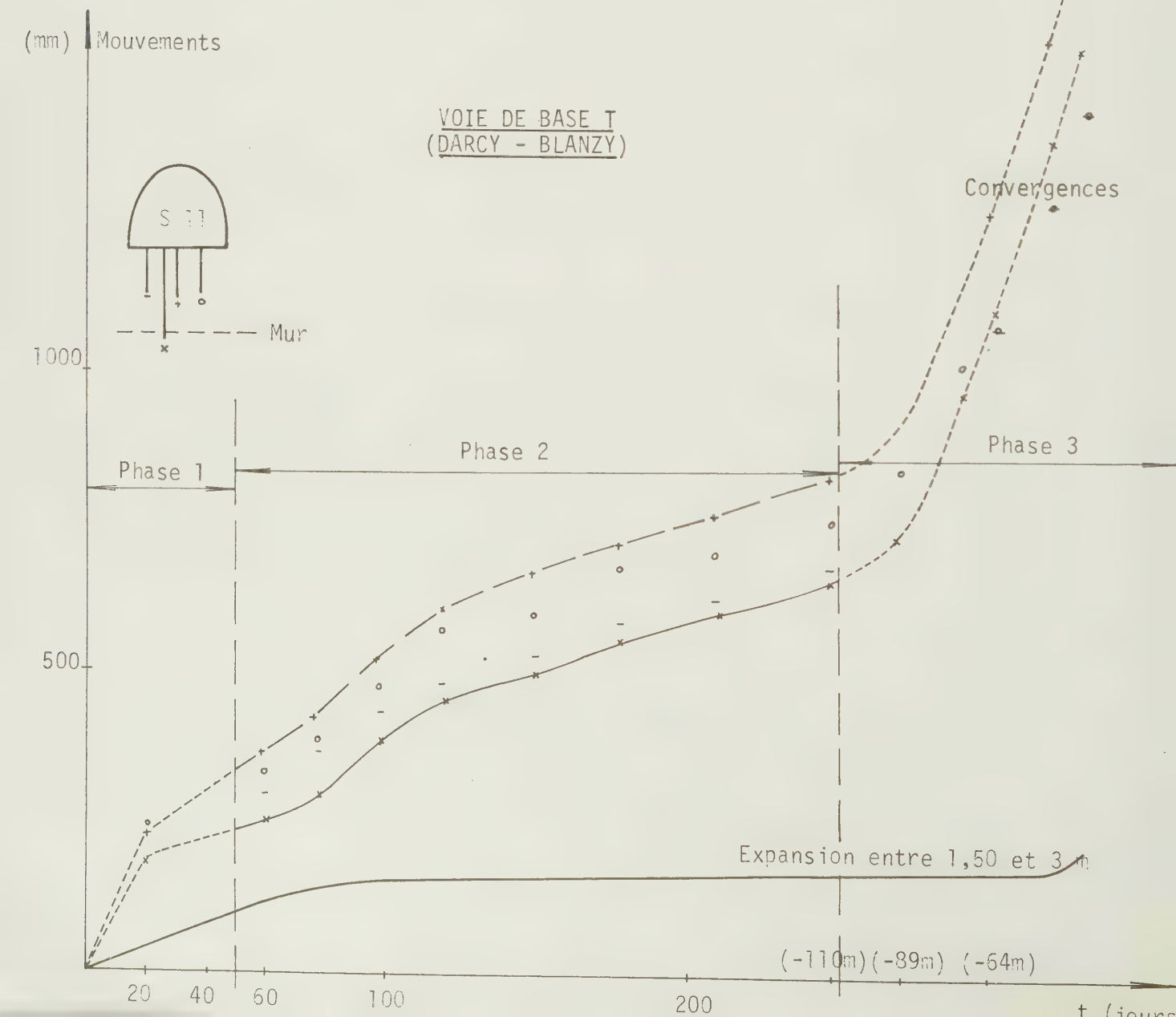
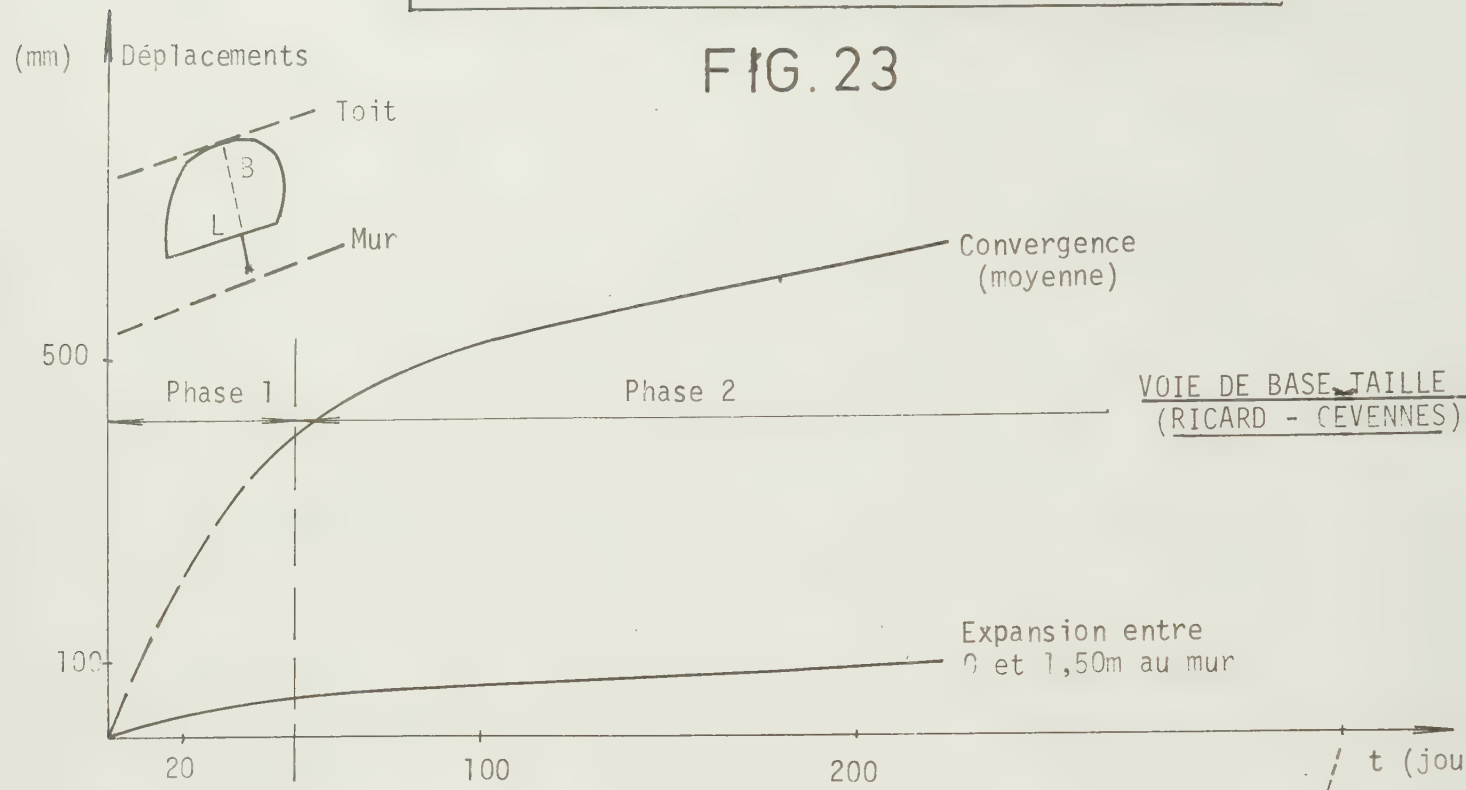
Toutes les courbes décrites ci-dessus ont des caractéristiques de forme commune. Elles font apparaître toujours trois phases :

- Une première phase où la vitesse de convergence est décroissante. Elle concerne en gros les 50 premiers jours après le creusement de la section de mesure. C'est la phase du creusement.
- Pendant la deuxième phase la vitesse de convergence est pratiquement constante avec dans certains cas un changement de régime, situé entre 150 et 200 jours après le creusement. Cette période est parfois appelée "phase en ferme" car elle ne correspond à aucune influence d'exploitation (le creusement étant achevé et la taille pas encore démarrée).
- La troisième phase se caractérise par une vitesse croissante. Elle traduit l'influence de l'approche de la taille et commence en effet toujours alors que le front est à une centaine de mètres du point de mesure.

On est conduit à faire deux remarques fondamentales :

- Avec des variations importantes d'un chantier à l'autre, les amplitudes des déformations sont toujours considérables. La convergence totale cumulée pendant toute la durée de vie d'une voie (c'est-à-dire du creusement au foudroyage) est de plusieurs mètres. Le volume d'entretien effectué pour maintenir une section ouverte suffisante est de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres cubes par mètre linéaire de galerie.
- Les mouvements de convergence (ou de fluage) ne s'amortissent pratiquement jamais : la vitesse de convergence ne descend pas en-dessous de la valeur qu'elle atteint dans la phase en ferme, de 2 à 10 mm par jour suivant les cas. Le volume évacué par l'entretien chaque mois ne diminue pas non plus.

FIG. 23



3) Etudes des expansions

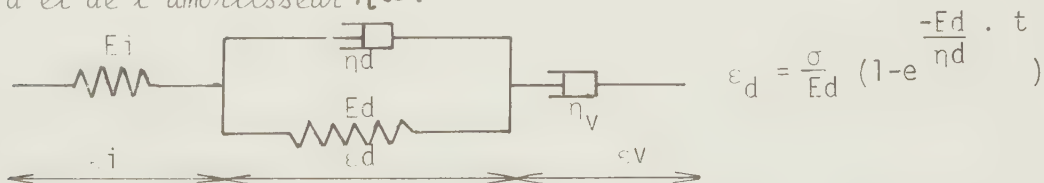
Parallèlement à cette évolution des convergences, l'expansion mesurée entre deux points du massif se stabilise après une période de croissance rapide qui suit immédiatement le creusement (Figure 23) et qui coïncide à peu près avec la phase 1 des convergences.

La deuxième phase apparaît alors comme le régime permanent des déformations dans ce type de chantiers. Il s'établit en dehors de l'influence des travaux de creusement et de dépilage et semble correspondre à des mécanismes inconnus en couches minces.

Les amplitudes finales atteintes par l'expansion sont très importantes. Si on calcule le taux moyen d'expansion correspondant on trouve 6 % à Ricard, 10 % à Blanzky. Rappelons que le taux moyen d'expansion est le rapport du déplacement relatif de deux points du massif à leur distance.

Note : Les lois classiques de la rhéologie attribuent souvent au charbon un type de comportement visco-élasto-plastique symbolisé par le modèle de Burgers. Il exprime que la déformation obtenue sous une contrainte constante évolue avec le temps suivant une loi appelée loi de fluage [28].

La loi de fluage, correspondant à la cellule composée du ressort E_d et de l'amortisseur η_d :



A cette déformation différée s'ajoute la déformation instantanée ϵ_i et la déformation purement visqueuse ϵ_v qui s'amortit au bout d'un temps inversement proportionnel à la contrainte.

Des mesures de déformabilité faites en Laboratoire par M. MORLIER sur des charbons de la Houve ont permis d'avancer les valeurs de 300.000 bars et 900.000 bars jours respectivement pour E_d et η_d soit un rapport $\alpha = \frac{E_d}{\eta_d} \approx 1/3$

Le fluage est donc peu important et on peut considérer que la déformation "plakonne" au bout d'une dizaine de jours.

Ce modèle ne peut donc pas rendre compte de l'évolution des mesures in situ, à moins de donner à α des valeurs jamais observées.

Ces valeurs sont à rapprocher de la limite de déformation élastique généralement admise pour le charbon qui correspond à un taux de 1 %. Ce seuil est largement franchi dans les premiers mètres autour des voies.

4) Type de comportement

D'une façon générale, l'amplitude de tous les mouvements échappe au domaine du comportement élastique. De même l'évolution des expansions avec le temps ne peut être décrite quantitativement par les modèles visco-élastiques classiques.

Mais la question se pose de savoir à quel type de comportement obéit le charbon après le creusement. En fait, on constate que le massif autour de la voie est soumis à une fissuration considérable, à une déconsolidation allant jusqu'à sa pulvérisation intégrale. Sur des échantillons prélevés à Blanzky, on a effectué des essais de dureté CERCHAR, qui ont mis en évidence une résistance à la compression faible (voisine de 100 bars). La résistance à la traction n'excède pas 5 bars. C'est ainsi que nous avons été amenés à considérer que le charbon sur le pourtour de la voie tend vers un comportement pulvérent.

Nous nous appuierons sur toutes ces considérations préliminaires pour comprendre et décrire le mécanisme des déformations dans les voies de couches puissantes. Nous commencerons par l'étude générale de ce que nous avons appelé le régime permanent, puis nous examinerons l'ensemble du comportement dans chaque phase particulière.

Suite Note : (page 42)

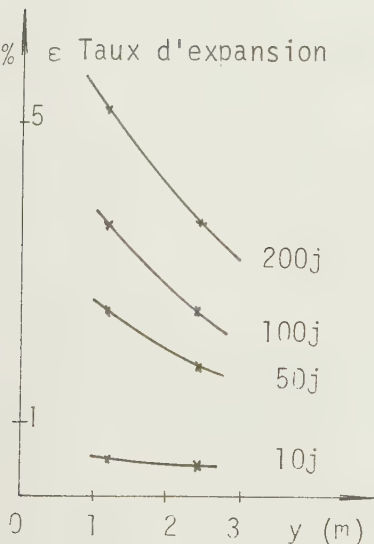
Quant à l'amplitude des déformations, elle est dans l'hypothèse élastique d'autant plus forte que le module d'élasticité des terrains est faible (en l'occurrence, il est de l'ordre de 20.000 bars pour le charbon) et que les contraintes initiales sont grandes (à 800 m de profondeur correspond une contrainte verticale de 200 bars). Les calculs faits avec ces valeurs ne donnent pas l'ordre de grandeur des déformations effectivement mesurées.

FIG. 24

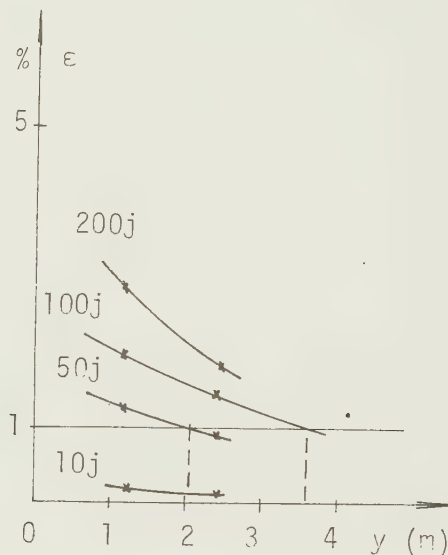
EVOLUTION DES EXPANSIONS EN FONCTION DE LA DISTANCE
A LA PAROI ET EN FONCTION DU TEMPS

- a -

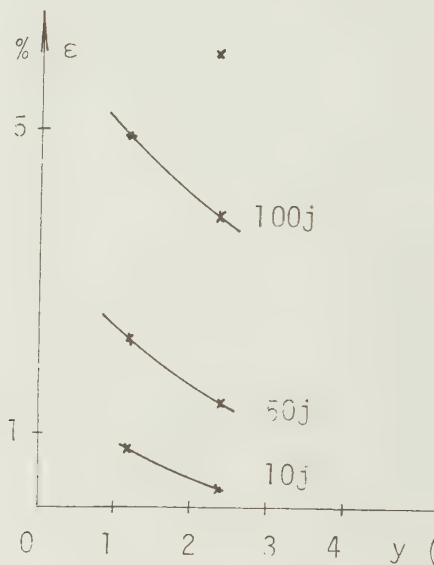
Voie de base taille 3
Parement aval



Voie de base taille 3
Parement amont



Voie de base taille 2



- b -

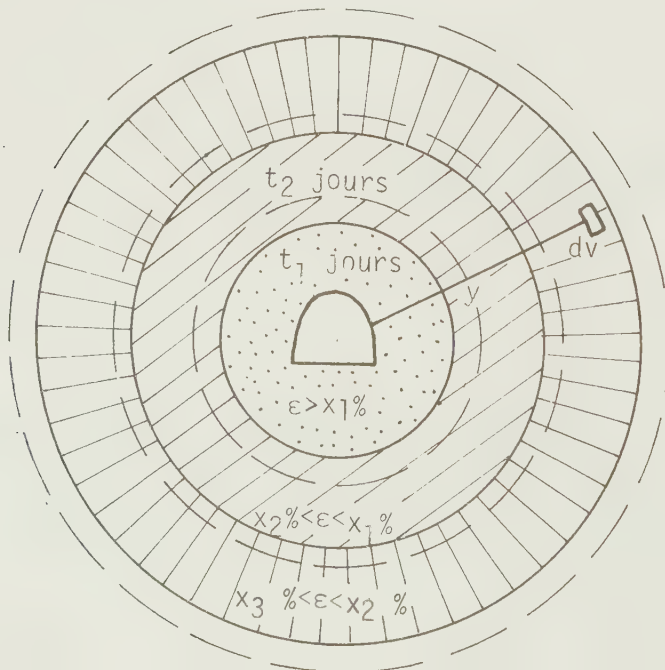
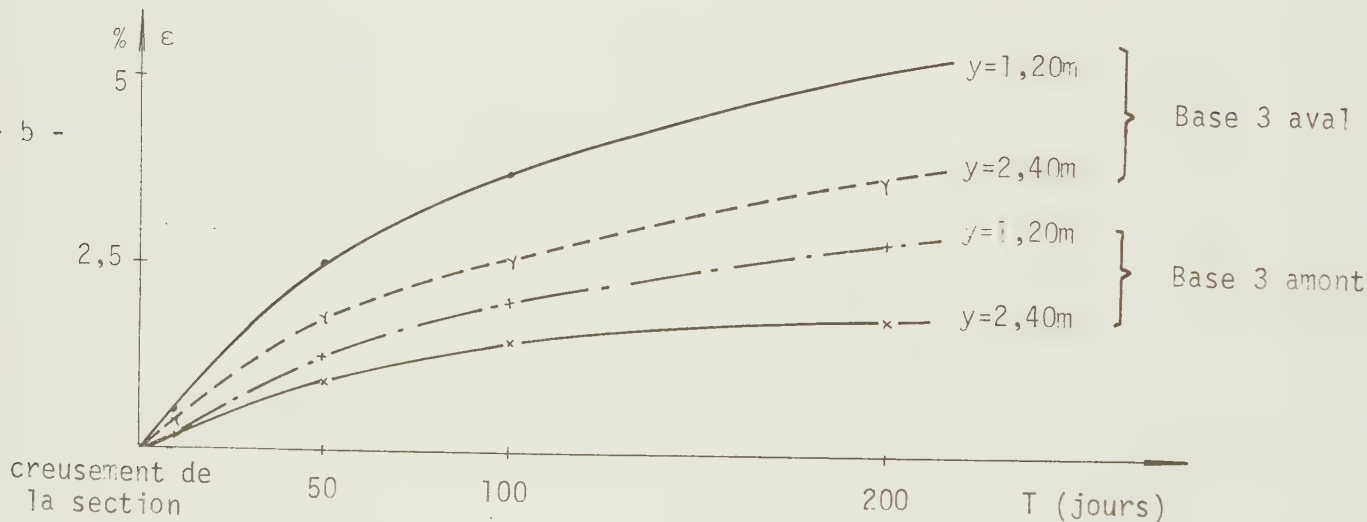


Schéma de répartition de l'expansion
dans le massif autour de la voie a
instants t₁ et t₂

- c -

B - ETUDE DU REGIME PERMANENT

1) Description du mécanisme

L'évolution de l'expansion à plusieurs niveaux n'est illustrée que par les résultats des extensomètres implantés dans les parements des voies de base 2 et 3 de Ricard, à 1,20 m et 2,40 m de profondeur. On porte pour $y = 1,20$ l'expansion mesurée entre 0 et 1,20 m, pour $y = 2,40$ l'expansion entre 1,20 m et 2,40 m.

Sur la figure 24, nous avons représenté les taux moyens d'expansions entre deux points, en fonction de la distance y à la paroi, du point le plus profond. La mesure était prise régulièrement et nous avons indiqué les valeurs obtenues successivement 10, 50, 100, 200 jours après le creusement (1).

On met en évidence plusieurs caractéristiques communes :

- A un instant donné, l'expansion décroît à mesure qu'on s'éloigne de la paroi (courbes a)
- Pour une distance donnée de la paroi, l'expansion croît en fonction du temps suivant une courbe amortie b (dont la forme a été décrite précédemment et comparée à celle de la convergence).
- On constate enfin que l'expansion concerne une zone de terrain dont l'étendue grandit avec le temps. Un taux d'expansion de 1 % par exemple est relevé en voie de base taille 3 amont à 2 m environ au bout de 50 jours (courbes a). Après 100 jours c'est un point à 3,50 m qui sera atteint à son tour.

(1) Note : L'intérêt de cet exemple vient de ce que l'expansion est mesurée entre trois niveaux (0, 1,20, 2,40) alors que dans les autres chantiers elle n'était relevée qu'entre deux niveaux (par exemple 1,50 et 3 m). On notera que le parement amont de la voie de base 3 était boulonné et que la base 2 subissait juste après le creusement un passage de taille ce qui peut avoir perturbé le phénomène.

A l'aide de ces quelques observations, on peut tenter de décrire le processus de la façon suivante :

A la suite de la détente du massif provoquée par le creusement, un petit volume élémentaire dv (schéma c) situé à la distance y du bord de la voie, subit à l'instant t une expansion qui est une fonction complexe de y et de t ($\varepsilon(y, t)$).

On ne connaît de cette fonction que la forme d'évolution par rapport à ces deux variables prises indépendamment : décroissante en y , et croissante amortie en t .

En ce qui concerne l'influence du temps, on retiendra que le volume dv ne peut pas physiquement enregistrer une expansion infinie : la forme amortie de la courbe suggère effectivement l'existence d'une limite supérieure pour l'expansion en un point donné.

Quant à l'influence de la position y dans le massif, elle exprime que les effets de la détente ne se propagent pas instantanément en profondeur et que les différents points sont affectés progressivement, en fonction de leur éloignement, par un taux d'expansion donné.

On peut écrire enfin que les mouvements de convergence sont le résultat de l'augmentation de volume de tous les éléments, tels que dv (soit $\Delta V = \int_V \varepsilon(y, t) \cdot dv$, l'intégrale étant étendue à tout l'espace autour de la voie).

Etant donné que l'expansion concerne un volume croissant avec le temps, on conçoit que la convergence (liée à ΔV) en régime permanent augmente elle aussi régulièrement.

Mais cette appréciation purement qualitative est vague et insuffisante.

Pour décrire la forme de cette évolution, il faut déterminer les paramètres qui gouvernent le mécanisme (paramètre de répartition de l'expansion, vitesse de propagation, seuil d'expansion maximum etc..) ce qui nécessite de connaître la fonction $\varepsilon(y, t)$.

2) Essai de caractérisation des paramètres

Nous savons que la loi de répartition des expansions n'entre pas dans le cadre des modèles connus. Dans un massif pulvérulent, elle dépend de la manière dont s'est constitué l'équilibre.

Par ailleurs, nos mesures ne permettent pas de l'établir directement. Elles sont en effet trop peu nombreuses, trop imprécises et ne sont représentatives que d'un espace trop restreint (les premiers mètres autour de la voie). De plus, elle ne nous fait connaître qu'un taux d'expansion moyen, entre des points distants au minimum d'un mètre, et non pas le taux d'expansion réel en un point.

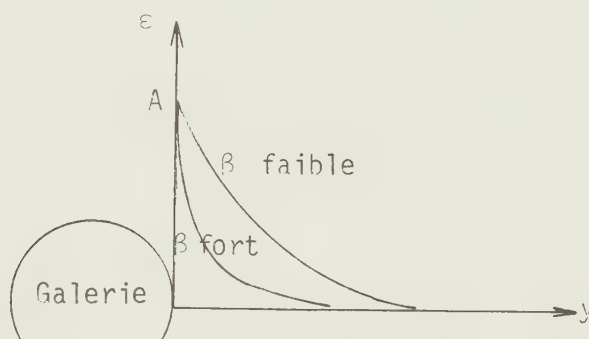
Toutefois, si on cherche à introduire, une fonction qui réponde aux conditions qualitatives imposées par l'expérience et dont les paramètres puissent en même temps être interprétés aisément, les possibilités de choix sont très limitées.

Il nous a semblé qu'une fonction de forme exponentielle correspondait au mieux à toutes ces exigences. Ainsi, nous proposons d'écrire l'expansion en un point situé à la distance y de la paroi et à l'instant t : $\varepsilon(y,t) = Ae^{-y \cdot \beta(t)}$

Cette loi est bien décroissante en y (si β est positif) et d'autre part on peut reconnaître dans les paramètres A et β , des caractéristiques de comportement des terrains.

- A représente le taux d'expansion maximum que peut enregistrer le massif dans les conditions où il est placé (profondeur, soutènement etc...). Nous avons vu que l'expansion en chaque point est naturellement limitée à un certain seuil maximal qui correspond à l'établissement d'un nouveau régime d'équilibre des contraintes et des déformations autour du point considéré. A apparaît comme la limite supérieure de toutes ces expansions maximales. Il est normal qu'on la trouve au niveau de la paroi de la galerie (pour $y = 0$) là où le processus de détente est le plus accentué et le plus rapidement stabilisé.

- β caractérise la répartition des expansions à un instant donné. Ce facteur définit l'étendue de la zone soumise à une expansion importante : une valeur de β forte signifie une courbe très raide et donc une expansion surtout répartie dans les premiers mètres de terrain ; une valeur faible au contraire traduit un étalement plus prononcé des expansions qui affectent alors une profondeur plus grande.



Pour traduire l'évolution de cette répartition, β doit être une fonction du temps positive et décroissante. Elle doit également rendre compte de l'amortissement de l'expansion à une distance donnée.

Dans ces conditions, nous proposons une forme à la fois simple et assez générale : $\beta(t) = \frac{\lambda}{t^m}$

Nous dégageons ainsi, à partir du facteur de répartition β , deux paramètres de comportement dont la signification physique est plus précise :

- λ est un coefficient de répartition de l'expansion essentiellement statique. Il détermine l'étendue immédiate (pour $t = 1$) de la fissuration dans le massif.

- m est au contraire un coefficient dynamique. Il caractérise la rapidité avec laquelle le phénomène de propagation de l'expansion s'amortit. Plus m est grand, en effet, plus la raideur β de la répartition se stabilise rapidement à des valeurs faibles.

Autrement dit, m traduit la rapidité avec laquelle l'état d'équilibre final est atteint : il se définit en quelque sorte comme une caractéristique d'inertie du milieu.

Nous avons donc introduit trois paramètres caractéristiques A , λ et m réunis dans la formule de répartition de l'expansion dans le massif.

Insistons sur le fait que cette formule ne constitue ni une loi statistique ni un modèle physique théorique, mais qu'il s'agit seulement d'une représentation commode et cohérente du phénomène observé. Les conséquences qu'on en tire pour les mouvements de convergences justifient son emploi dans la mesure où l'on aboutit à une analyse quantitative plus précise (1).

(1) Note : En fait, à partir du moment où on suppose que les répartition des expansions dans le temps et dans l'espace peuvent être séparées en deux fonctions $f(y)$ et $g(t)$, on montre qu'il est impossible d'exprimer $\varepsilon(y,t)$ sous une forme multiplicative (ou additive) telle $f(y) \times g(t) = \varepsilon(y,t)$ [1]

En effet, l'augmentation de volume $\Delta V = \int_V \varepsilon(y,t) \cdot dv$ s'écrit alors avec $dv = d(\pi y^2) = 2\pi y dy$ (dans le cadre de la symétrie de révolution)

$$\Delta V = 2\pi g(t) \cdot \int_0^{\infty} y \cdot f(y) \cdot dy = 2\pi \cdot K \cdot g(t) \quad [2]$$

On voit que $g(t)$ devrait être une fonction amortie dans la formule [1] pour rendre compte de l'évolution des expansions et non amortie dans la formule [2] pour traduire celle des convergences.

Aussi l'expression que nous proposons est-elle $[f(y)] g(t)$

3) Conséquences

On peut calculer, à partir de la formule de l'expansion, plusieurs fonctions plus directement utilisables.

- L'augmentation de volume des terrains autour de la paroi s'écrit :

$$\Delta V = \int_V \varepsilon(y,t) \cdot dv \quad \text{avec} \quad dv = d(\pi y^2) = 2\pi y dy$$

on trouve

$$\Delta V = \int_0^\infty A e^{-\beta(t) \cdot y} \cdot 2\pi y dy \quad \text{soit} \quad \boxed{\Delta V = \frac{2\pi A t^{2m}}{\lambda^2}}$$

- La convergence correspondante se met sous la forme :

$$\boxed{C_V = 2R - 2\sqrt{R^2 - \frac{2At^{2m}}{\lambda^2}}}$$

déduite de $\Delta V = \pi(R^2 - r^2)$
et de $C_V = 2(R - r)$ (avec R
et r rayons initial et final de
la galerie)

- La vitesse de propagation d'un taux d'expansion donné E s'écrit :

$$\frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\text{Log}(E/A) \cdot \frac{t^m}{\lambda} \right] = -m \text{Log}\left(\frac{E}{A}\right) \cdot \frac{t^{m-1}}{\lambda}$$

et en particulier la progression de la zone fissurée ($E = 1$) se fait
à la vitesse :

$$\boxed{v_f = \frac{m}{\lambda} \text{Log}(A) \cdot t^{m-1}}$$

Comme cette vitesse doit être décroissante, on doit nécessairement avoir
 $m < 1$.

Par ailleurs, on voit que pour $m > 0,5$, l'augmentation de volume est
croissante avec le temps. Elle est décroissante pour $m < 0,5$ et enfin
rigoureusement proportionnelle au temps si $m = 0,5$.

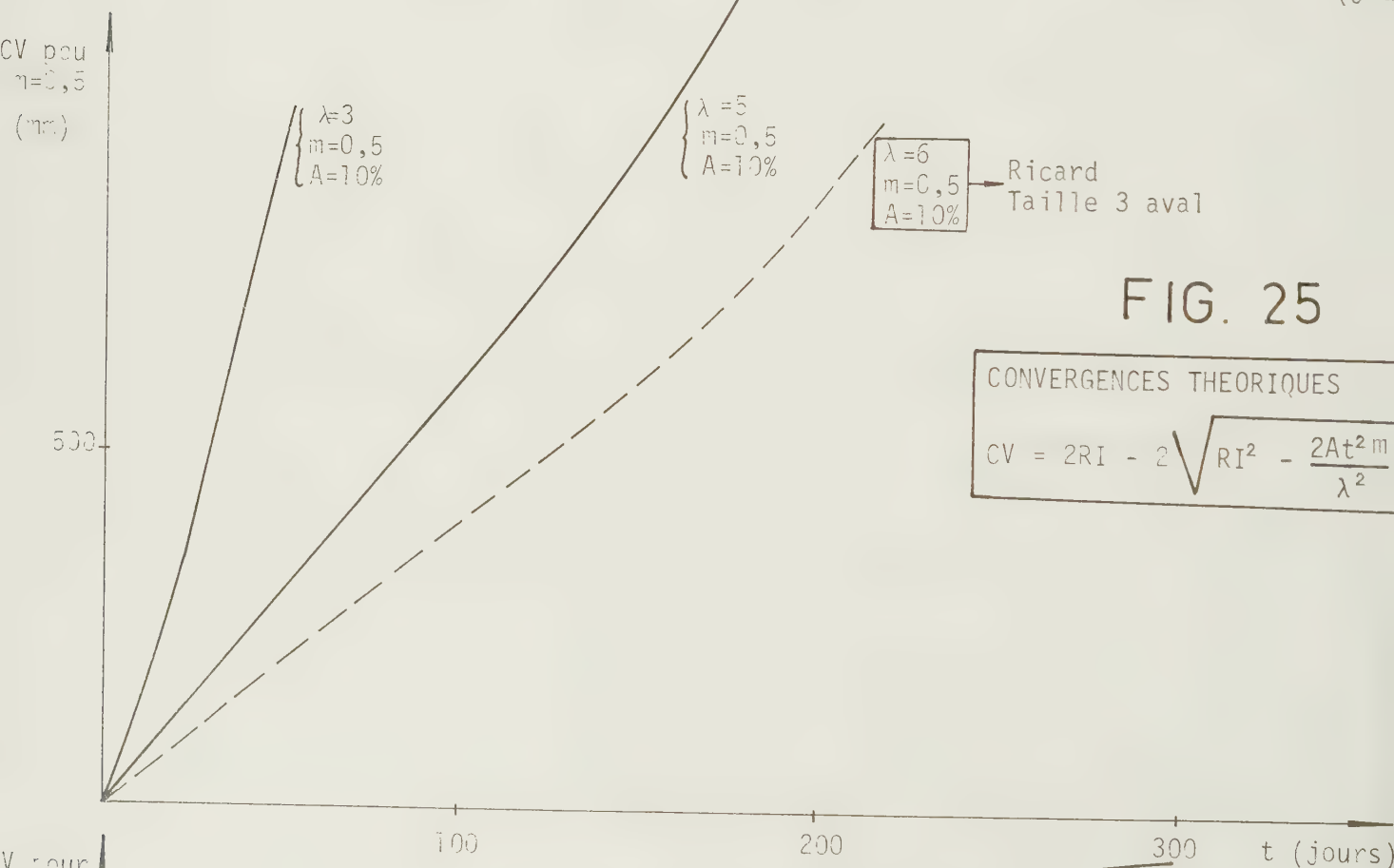
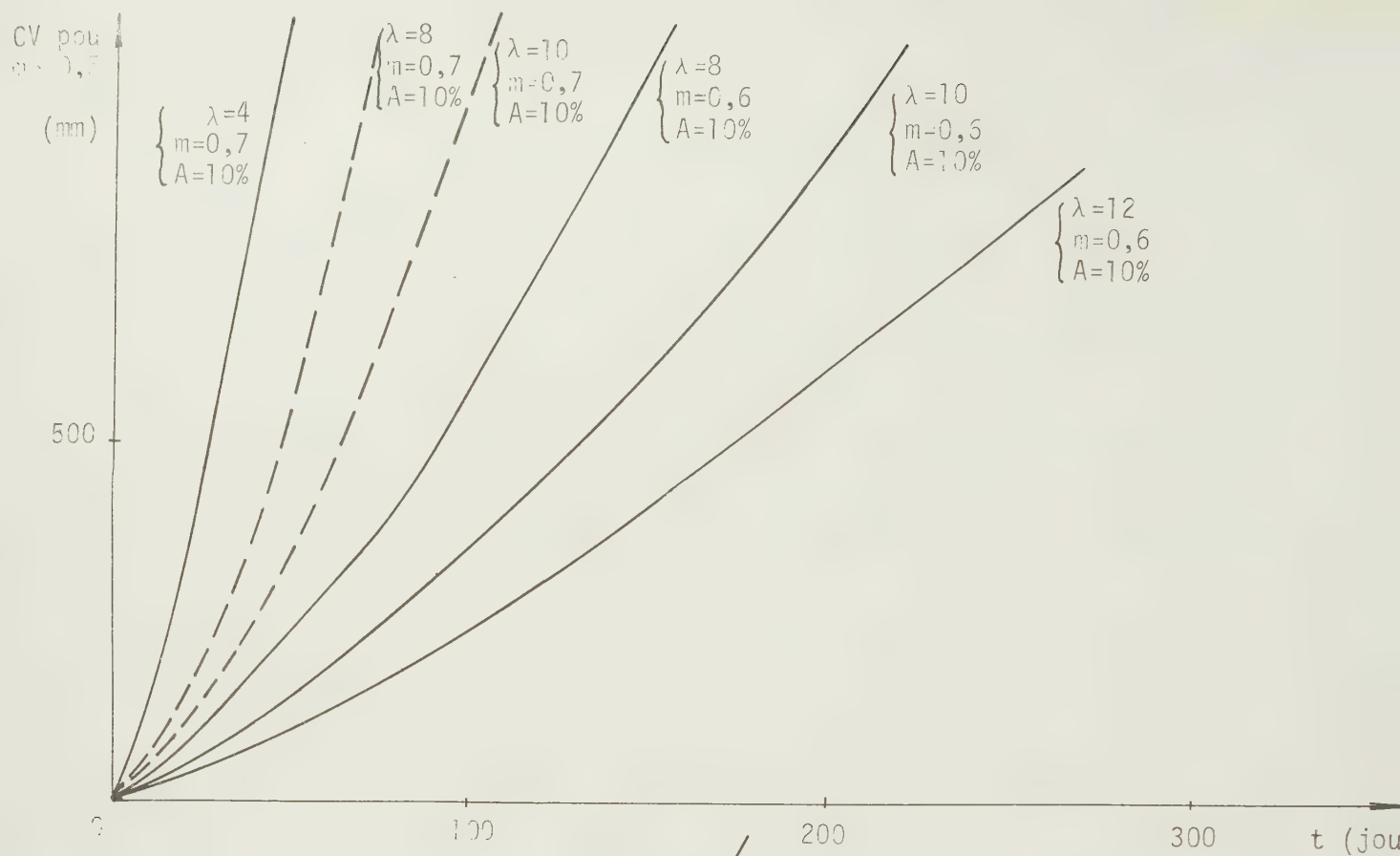
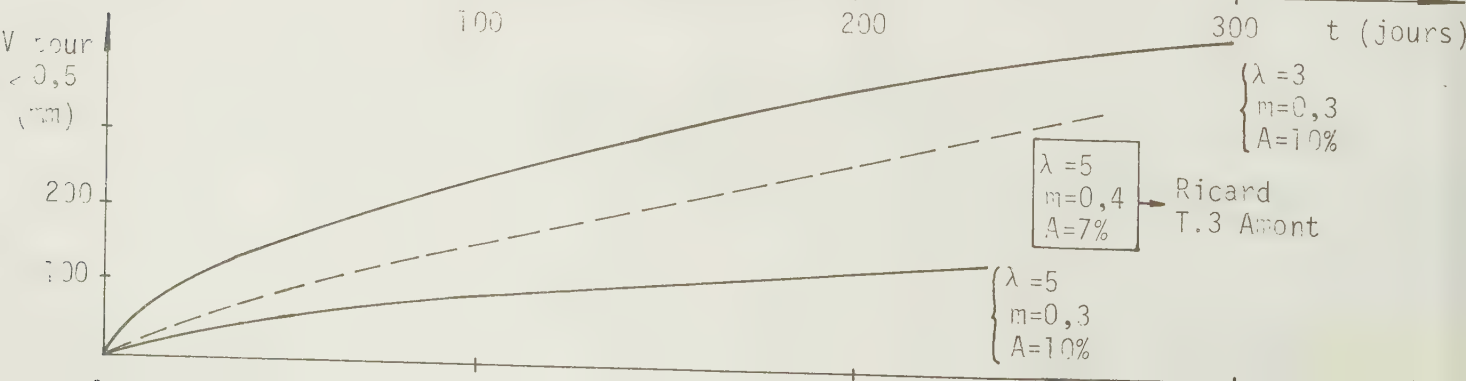


FIG. 25

CONVERGENCES THEORIQUES

$$CV = 2RI - 2\sqrt{RI^2 - \frac{2At^2m}{\lambda^2}}$$



Nous avons tabulé les convergences issues de la formule théorique, en fixant pour A la valeur 10 % qui correspond à la valeur moyenne du taux d'expansion maximum mesuré (figure 25).

On peut faire les mêmes distinctions que ci-dessus, suivant les valeurs de m :

- Pour $m = 0,5$ les courbes obtenues quelque soit λ se caractérisent par une partie assez rigoureusement linéaire, qui s'étend pour $\lambda = 6$ jusqu'à 150 à 200 jours, avec une vitesse de convergence de l'ordre de 4 mm/j. Au-delà de cette période, la vitesse augmente mais comme l'amplitude a atteint l'ordre de grandeur du mètre, cela se traduirait dans la pratique par la nécessité d'une remise à section (c'est-à-dire par un retour à l'origine).

Si on se réfère aux courbes réelles (figure 22) on constate que ce type d'évolution est très voisin de celui des voies de base D ou de tête J, dont les vitesses de convergences en régime permanent sont parmi les plus fortes et de l'ordre de 4 à 5 mm/jour.

- Pour $m < 0,5$, les courbes ont une concavité tournée vers le bas. Pour $m \approx 0,4$ et $\lambda = 5$ la vitesse de convergence passe de 2,5 mm/j pour 10 jours à 1,5 mm/j pour 100 jours et 1 mm/j pour 200 jours. Les amplitudes sont 2 à 3 fois plus faibles que dans le premier cas et la convergence s'amortit de plus en plus. Le comportement des voies de base T et de base 3, dont les déformations finissent par évoluer à une vitesse de 1 à 2 mm/jour est très proche de ce cas.

- Pour $m > 0,5$ enfin, la concavité des courbes est tournée vers le haut et la vitesse de convergence s'accroît progressivement (2 mm/j pour 10 jours à 4 mm/j pour 100 jours quand $m = 0,6$ et $\lambda = 10$).

On ne retrouve pas ce type de comportement dans la réalité. Les seuls cas, en effet, où la vitesse de convergence augmente au cours de la phase de régime permanent sont ceux des voies de tête CD, de tête T, et de Flotard 12B. Mais cette accélération est généralement assez brutale : A Flotard, elle affecte toutes les stations à la même date, dans les autres cas, elle se produit après une durée de vie comparable pour chaque station (de 150 à 200 jours).

De plus, la vitesse pratiquement constante avant ce "redémarrage" ne varie plus par la suite jusqu'à l'arrivée de la taille. Nous tenterons de fournir une explication à ce phénomène.

Ajoutons que le cas $m > 0,5$ impliquerait une accélération continue de l'augmentation de volume ΔV , c'est-à-dire un entretien des voies de plus en plus important, ce qui n'a pas été observé.

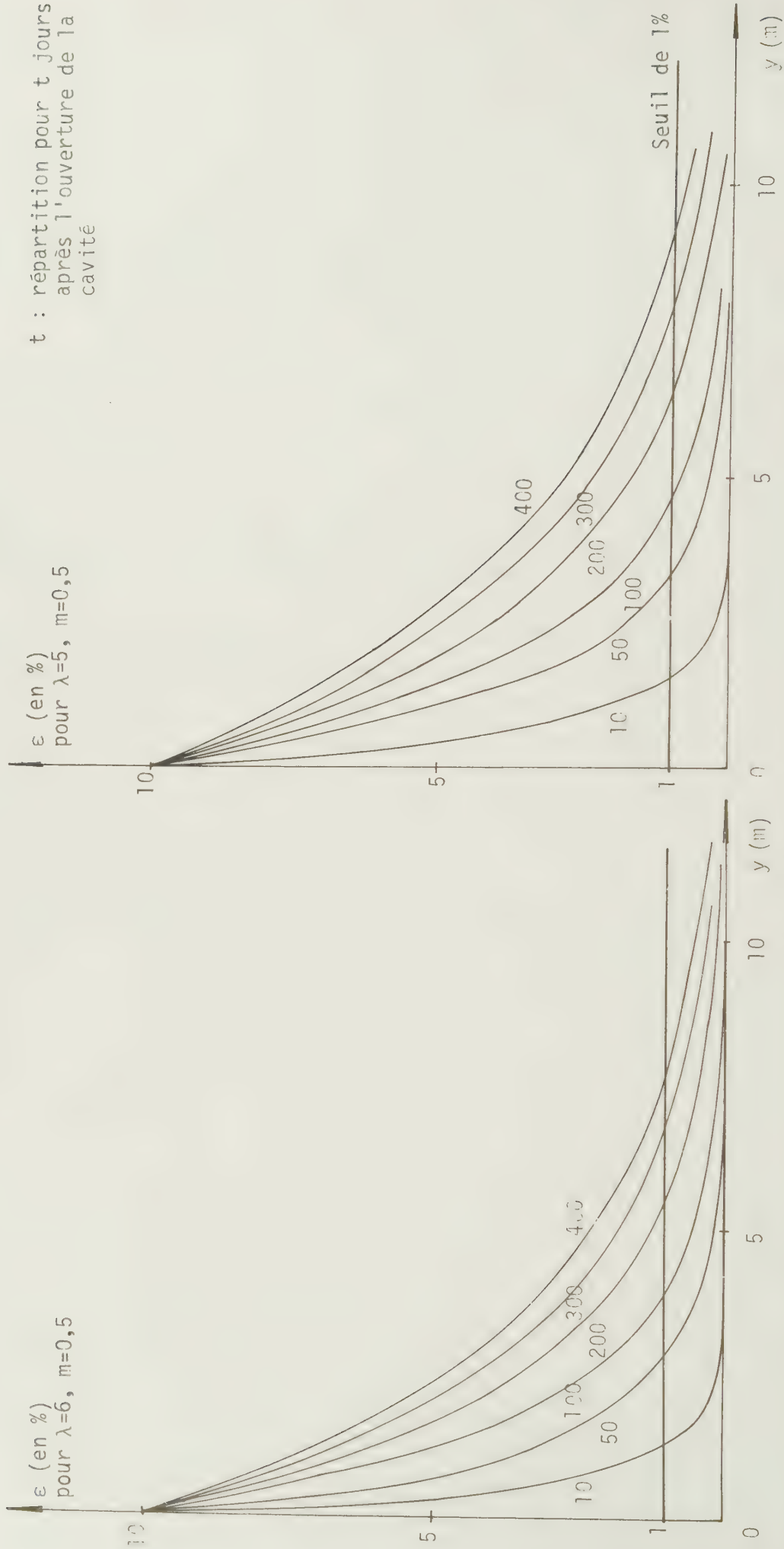
Un point important est que cette confrontation des résultats expérimentaux avec les courbes théoriques aboutit à des conclusions qui concordent avec l'interprétation physique des différents paramètres.

Ainsi, les valeurs de m les plus fortes correspondent à des voies creusées le long d'anciennes exploitations dans la même couche, c'est-à-dire dans un massif ayant été au préalable déconsolidé puis recomprimé, par l'affaissement du toit. Dans ce cas, le charbon manifeste une plus grande inertie à enregistrer les effets de la détente, comparativement à un charbon initialement vierge comme celui de la voie de base T ou de la base 3. Nous serons amenés à revenir plus précisément sur ce point dans le cadre du chapitre consacré à l'étude de l'influence de certains facteurs (naturels ou d'exploitation) sur le comportement.

FIG. 26

REPARTITION THEORIQUE DES EXPANSIONS DANS LE MASSIF

suivant $\varepsilon = Ae^{-\lambda \frac{y}{tm}}$



C - ETUDE DE L'ENSEMBLE DU COMPORTEMENT

1) Etude du redémarrage

Nous avons représenté graphiquement (figure 26) la formule de répartition exponentielle de l'expansion pour $m = 0,5$ par exemple et pour $\lambda = 5$ et $\lambda = 6$. En admettant qu'au delà d'un taux d'expansion de 1 %, la fissuration d'un charbon initialement intact est totale, on peut suivre l'évolution de cette fissuration sur une direction radiale quelconque.

On voit que l'extension de la zone pulvérulente atteint 1 à 2 m au bout de 10 jours, 4 à 6 m au bout de 100 jours et peut atteindre 7 m en 200 jours.

La vitesse de propagation passe de 6 cm/j après 10 jours à moins de 2 cm/j au bout d'un an.

Autrement dit, pour une galerie située à 1 m du mur dans une couche de 10 m de puissance, on note que le mur de la couche est atteint par la déconsolidation dès les premiers jours qui suivent le creusement alors que le toit n'est affecté qu'après 200 jours environ.

Pendant ce temps, la convergence a atteint l'ordre de grandeur du mètre. La remise à section évacue de 6 à 8 m³ de charbon par mètre linéaire de galerie. La déconsolidation concerne alors toute la couronne et une largeur de 7 m de part et d'autre de la voie, ce qui signifie qu'on a rendu pulvérulent une masse de charbon de 20 m de large, 300 m de long (longueur de la voie) et 10 m de hauteur (puissance de la couche). L'appui du toit de la couche est considérablement affaibli au-dessus de cette zone et ce toit peut alors subir un affaissement localisé soit progressif, soit brutal (coup de charge).

Cette recompression partielle stimule la reprise de l'expansion dans un matériau déjà pulvérulent et fait naître des mouvements plus importants (ou si on préfère, provoque une augmentation de la valeur de m).

Ce déplacement du toit n'a malheureusement jamais pu être observé directement, les dispositifs de mesures n'étant pas nécessairement installés aux emplacements et au moment opportun. Cependant, l'hypothèse que nous proposons s'appuie sur le fait que c'est toujours entre 150 et 250 jours après le creusement que le phénomène de redémarrage se produit. De plus, il n'affecte jamais les galeries qui longent d'anciennes exploitations (où le toit est déjà affaissé) mais on l'observe au contraire toujours dans les galeries creusées en vierge. Ajoutons enfin qu'à Flotard, un fort coup de charge a été signalé au fond en coïncidence avec le redémarrage.

2) Etude de la première phase du creusement

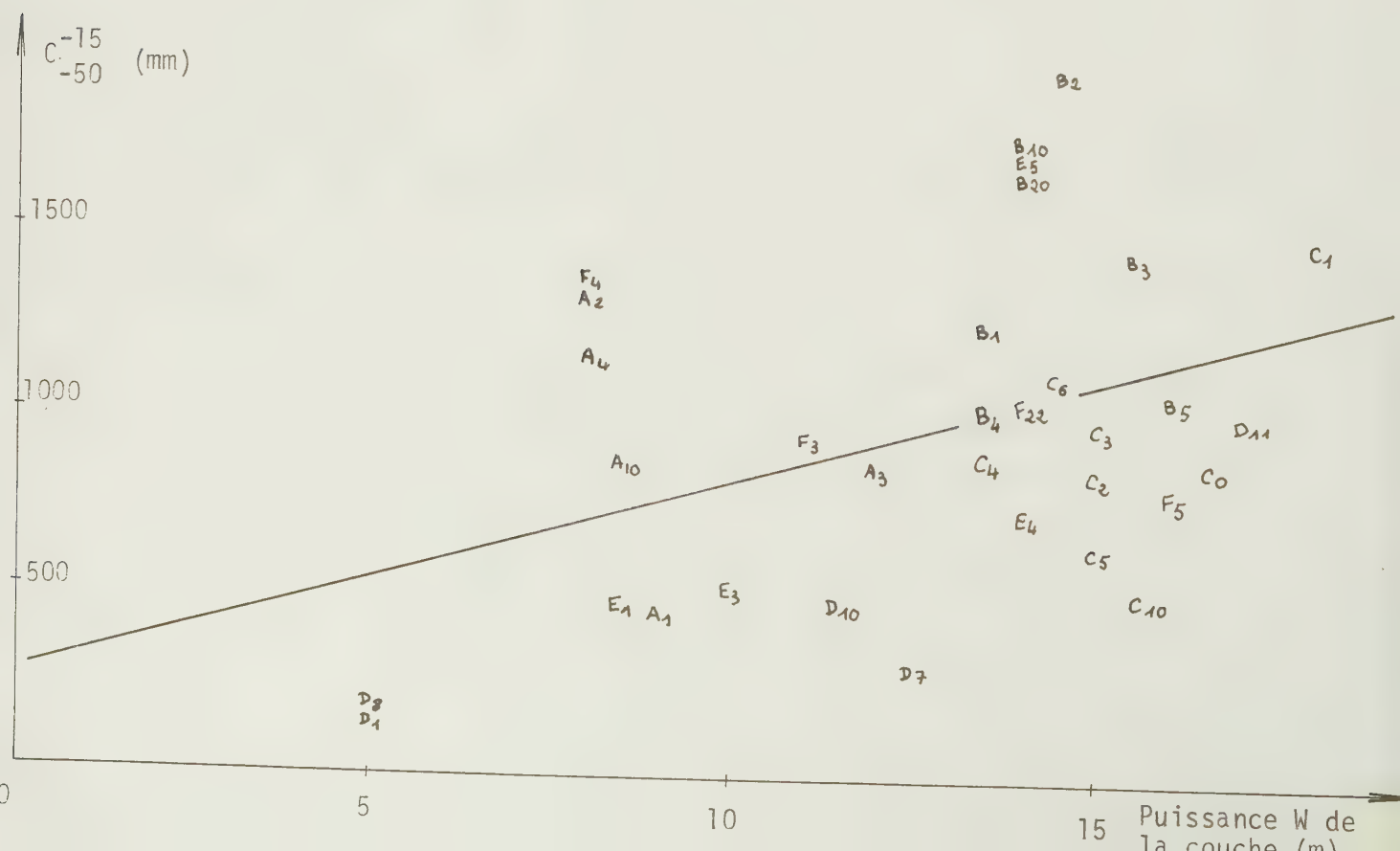
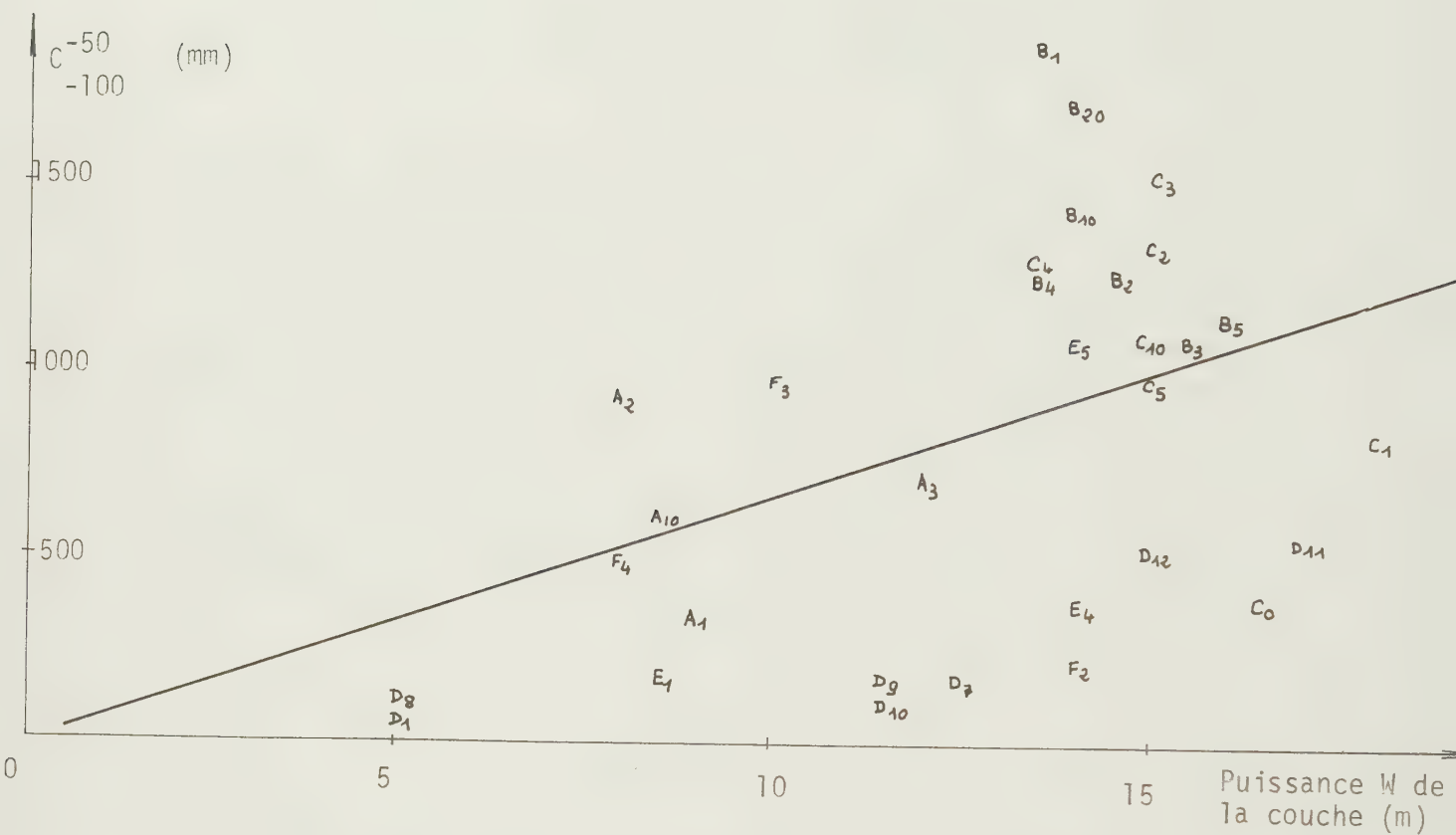
L'établissement du régime permanent tel que nous l'avons défini s'effectue au cours des cinquantes premiers jours qui suivent le creusement. Cette phase initiale comprend un premier stade, sans doute assez bref où s'effectue le dépassement des limites de comportement élastique, et un stade pendant lequel s'établit l'équilibre pulvérulent sur les premiers mètres autour de la voie.

Ce deuxième stade correspond à la période où l'expansion maximale n'est pas encore atteinte à la périphérie de la galerie. Comme pendant cette période, l'évolution de l'expansion est assez rapide (avant de s'amortir ultérieurement) ceci explique l'amplitude et l'allure des convergences.

Le régime permanent se superpose d'abord à ce stade initial, puis s'impose progressivement quand ce dernier s'efface.

FIG. 27

LIAISON ENTRE LA PUISSANCE DE LA COUCHE
ET LES PARAMETRES D'AVANT PASSAGE-TAILLE



3) Etude du passage de la taille

Avant le passage de la taille, les convergences s'accélèrent. Mais au lieu d'une courbe à croissance exponentielle démarrant à une trentaine de mètres en avant du front de taille comme en couche mince, on obtient dans le cas d'une couche puissante soutirée, une allure de courbe grossièrement assimilable à la somme d'une exponentielle et d'une droite. La pente de cette droite est la plupart du temps voisine de celle qui caractérisait l'évolution des mouvements dans la phase précédente (en ferme).

Il semble donc qu'on puisse, en première approximation, considérer la troisième phase comme le résultat de la superposition de deux phénomènes : d'une part, se perpétue la progression de la fissuration que nous nous sommes attachés à décrire jusqu'à présent, d'autre part se manifestent les effets de la "surpression" provoquée par l'affaissement progressif du toit qui suit le défilage.

En réalité, le phénomène est sans doute plus complexe et la séparation des deux influences est difficile. D'un côté, la surpression sur un massif déjà pulvérisé est susceptible de modifier le régime de propagation de la fissuration ultérieure et par ailleurs les effets de l'affaissement du toit sont amortis par un "matelas" de charbon pulvérulent d'une dizaine de mètres d'épaisseur en couronne. Ainsi, les liaisons que nous avons établies entre les paramètres de convergences de 100 m à 50 m en avant du front (C_{-100}^{-50}) et de 50 à 15 m (C_{-50}^{-15}) d'une part et la puissance de la couche d'autre part, montrent une dispersion importante, bien qu'elles soient significatives au sens statistique. (Voir figure 27).

Le même résultat est obtenu pour les fluages. Cette médiocre liaison illustre bien la multiplicité des influences qui s'exercent sur la phase d'avant passage taille.

Il reste néanmoins certain que le défilage crée en avant du front une zone de surcontraintes analogue à celle que l'on observe en couche mince mais dont l'étendue est multipliée par un facteur d'échelle correspondant à la puissance plus grande de la couche. C'est ainsi que l'on détecte le début de l'influence du front à une distance généralement comprise entre 80 et 100 m de ce dernier. Pour la voie de tête CD qui subissait le passage de deux fronts alignés (double unit), cette distance atteint plus de 120 m.

On a cherché à mettre en évidence une culée frontale (zone où les surcontraintes sont maximales). Malheureusement, les capsules pressiométriques (type BOM-CERCHAR) n'ont jamais fourni de résultats exploitables. Elles ont été mises en oeuvre dans les panneaux I et GA mais souvent trop tardivement (à moins de 50 m du front). Quant à celles qui étaient posées à une distance convenable (100 m au moins), elles ne sont pas montées en pression. Ce résultat négatif est intéressant en soi car il tend à illustrer l'importance de la déconsolidation du massif. Ces capsules nécessitent en effet une liaison aussi étroite que possible avec le terrain ce qui est contradictoire avec une cohésion trop grande, notamment celle qu'est susceptible de provoquer une culée frontale importante. On n'a pas pu mettre en évidence directement l'existence de cette culée ni a fortiori en situer la position et en évaluer l'amplitude. Cependant l'hypothèse d'une zone de surcontraintes à une trentaine de mètres en avant du front de taille est cohérente, elle permet de rendre compte d'un certain nombre d'observations, notamment l'allure des courbes de convergence en voies en avant passage et aussi, comme nous le verrons, l'effet pilier et le mécanisme des déformations en taille.

Nous ne possédons qu'un seul cas d'après passage taille : celui de la voie de base taille 2 des Cévennes. Ce cas est lui aussi rendu complexe par la superposition de deux phénomènes. L'exploitation est en effet chassante et le creusement des voies précède le front de taille de quelques mètres seulement. La détente due au creusement

FIG. 28

RICARD (CEVENNES)
VOIE DE BASE - TAILLE 2
COURBE MOYENNE EN APRES-PASSAGE DE TAILLE



ajoute donc ses effets à ceux de l'affaissement du toit dans l'arrière-taille. Nous avons représenté (figure 28) la courbe des convergences observées à côté de la courbe des convergences qu'on aurait attendues dans les mêmes conditions géométriques (puissance : 5 m, profondeur de 900 m et vitesse d'avancement d'environ 1 m/j). La courbe réelle est nettement au-dessus de la courbe prévisible essentiellement à cause de son évolution dans les premiers mètres après le front. Par la suite l'influence du creusement s'efface (après dépilage du parement amont, la détente ne concerne d'ailleurs plus que la moitié aval du massif).

4) Cas des exploitations par tranches descendantes

Nous avons eu l'occasion d'étudier quelques chantiers desservant la taille d'une première tranche au toit dans les exploitations par tranches descendantes à Carmaux (Aquitaine). Certains aspects seront développés dans le chapitre consacré aux applications et aux influences de facteurs, notamment en ce qui concerne le creusement.

Au passage de la taille, les déformations sont beaucoup moins fortes que dans les couches soutirées. La profondeur plus faible n'explique pas à elle seule cette différence. L'évolution des convergences en avant passage est passible de très bons ajustements exponentiels et leur amplitude correspond à ce qu'on attendrait au cours de l'exploitation d'une taille entre épontes de puissance 2,50 m à 3 m, c'est-à-dire de l'épaisseur de la tranche dépilée (voir figure 29).

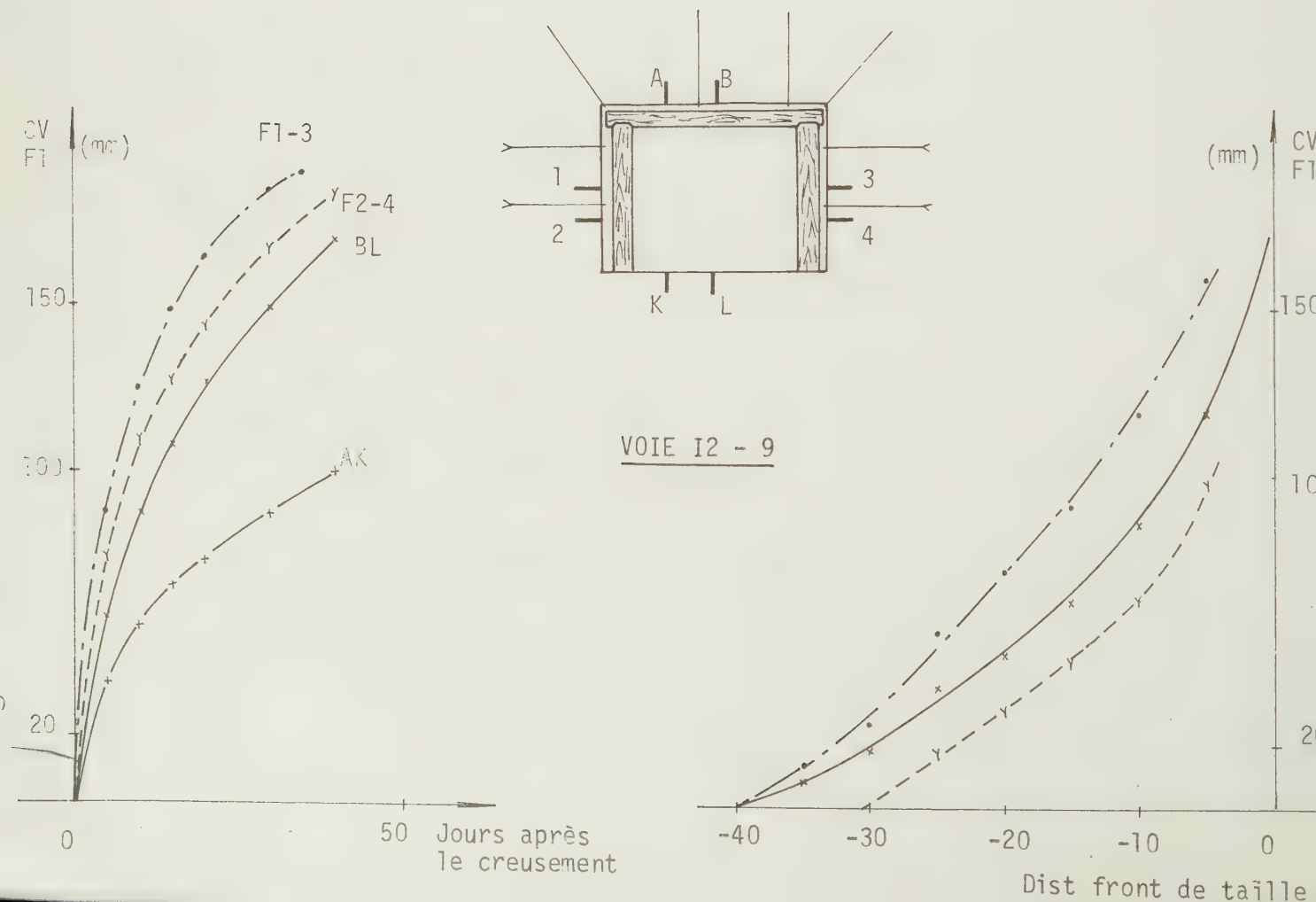
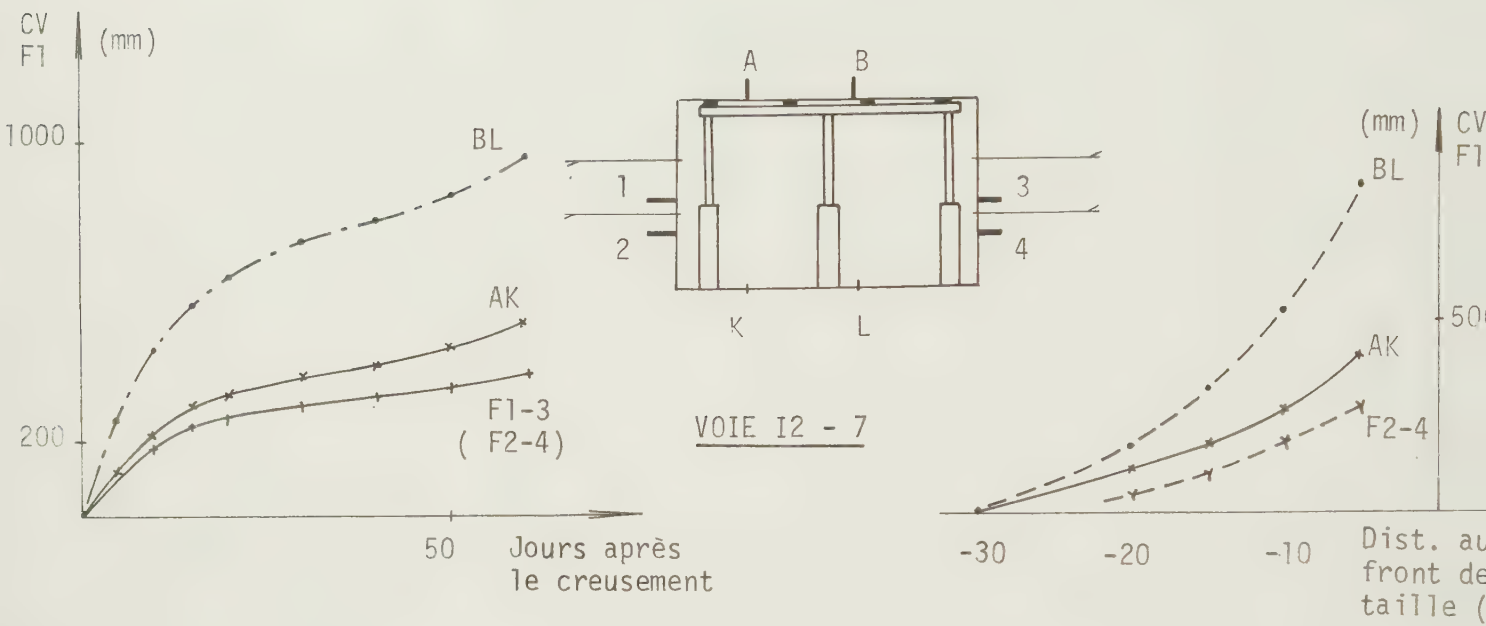
Le comportement sous l'influence de la taille est par conséquent analogue à celui auquel nous ont habitué les exploitations classiques en couches minces. Il en est d'ailleurs de même au creusement.

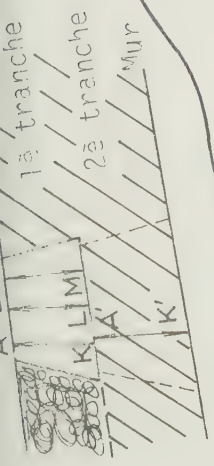
Dans une couche des Cévennes (taille 510), nous avons pu effectuer des mesures après le passage de la taille d'abord dans la première tranche au toit, puis dans la tranche suivante (figure 30).

FIG. 29

COURBES MOYENNES DE CONVERGENCE ET
FLUAGE DANS LA PREMIERE TRANCHE

Exploitation par tranches descendantes - Siège Tronquié - Aquitaine





COURBES MOYENNES

FIG. 30



On notera simplement que les mouvements dans la deuxième tranche sont nettement amortis par rapport à ceux mesurés dans la tranche supérieure en raison de la détente apportée par l'exploitation de cette dernière.

Là encore, le comportement est conforme aux connaissances relatives aux couches minces.

D - CONCLUSION

En conclusion, on peut décrire le comportement des voies au charbon creusées dans les couches puissantes de la façon suivante :

L'ouverture de la voie provoque une détente du massif qui se manifeste en deux temps :

- Une phase initiale pendant laquelle la détente concerne principalement la périphérie de la voie. Cette phase est caractérisée par de fortes déformations qui se ralentissent progressivement.
- Une phase de régime permanent s'installe ensuite : les effets de la détente se développent de plus en plus profondément vers l'intérieur du massif jusqu'à atteindre les épontes (ce qui peut provoquer des réajustements au toit de la couche générateurs de mouvements plus forts). Les déformations évoluent pratiquement proportionnellement au temps.

Les surcontraintes qui précèdent le passage de la taille se superposent à ce régime permanent dès que le front de taille se trouve à une centaine de mètres et entraînent des déformations de plus en plus grandes à mesure que le front se rapproche.

Dans le cas des tranches descendantes, il semble que ces phénomènes soient très effacés et que le comportement rappelle davantage celui des galeries classiques en couches minces.

Nous nous sommes demandés quels étaient les facteurs qui déterminaient la forme du comportement. Nous examinerons les conséquences qui résultent de la connaissance du mécanisme de façon à pouvoir mieux prévoir et contrôler la tenue de ces chantiers.

PLAN DU CHAPITRE V

CONSEQUENCES ET APPLICATIONS DU MECANISME ELEMENTAIRE

I - RÔLE DE L'ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT DE LA GALERIE

- 1) Les caractéristiques mécaniques des terrains
- 2) Méthode d'étude de l'environnement immédiat
- 3) Position de la voie dans la couche
- 4) Puissance de la couche
- 5) Proximité d'une partie de la couche déjà défilée
- 6) Conclusion générale

II - RÔLE DES ANCIENNES EXPLOITATIONS VOISINES

- 1) Influence des conditions sus-jacentes
- 2) Effet pilier
- 3) Conclusion générale

III - LE SOUTÈNEMENT, L'ENTRETIEN ET LE PROBLÈME DE LA LIMITATION DES MOUVEMENTS

- 1) Rôle du soutènement
 - a) Mécanisme de répartition des convergences entre mur et couronne
 - b) Etude des fluages
 - c) Conséquences pour l'entretien
- 2) Essais de soutènement
- 3) Conséquences pratiques
- 4) Influence de l'entretien
- 5) Conclusion

IV - INFLUENCE DES FACTEURS NATURELS

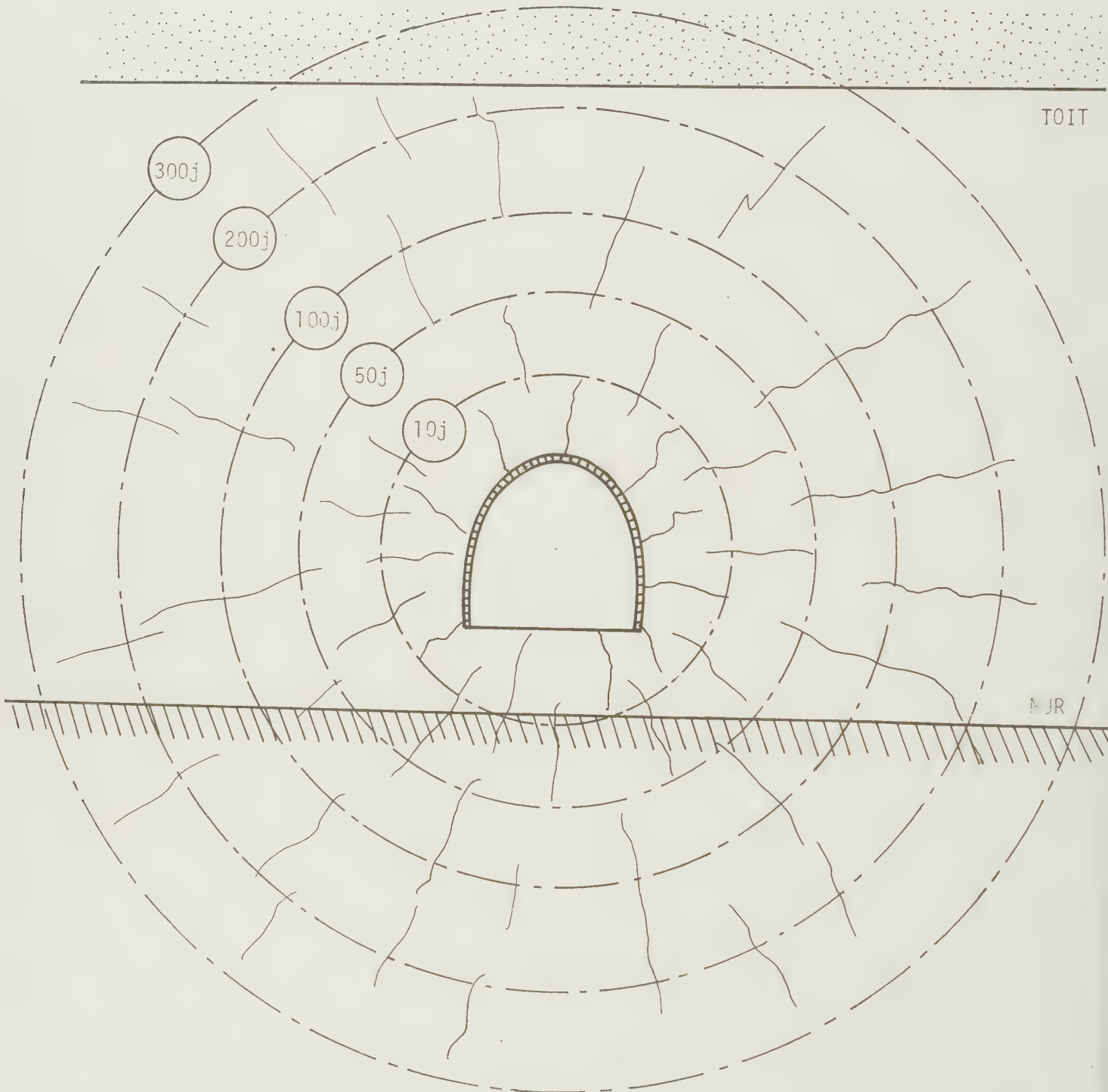
- 1) La profondeur
- 2) La tectonique

V - CONCLUSION ET CONSÉQUENCES

- 1) Synthèse des résultats
- 2) Conséquences pratiques et essais
 - a) Le point sur les essais d'injection de résines synthétiques
 - b) Constitution d'une infrastructure au rocher.

FIG. 31

PROPAGATION PRESUMEE DE LA FISSURATION
AUTOUR DE LA VOIE - GAINE D'INFLUENCE.



CONSEQUENCES ET APPLICATIONS DU MECANISME ELEMENTAIRE

L'étude des mécanismes élémentaires de déformations, aussi bien en voie qu'en taille est restée jusqu'à présent dans un cadre général, reposant sur des hypothèses simplificatrices, en faisant abstraction de l'influence de certains facteurs.

Nous allons maintenant :

- Examiner la validité des hypothèses en les comparant aux conditions réelles,
- Etudier l'influence précise d'un certain nombre de facteurs (naturels ou introduits par l'exploitation), ce qui permettra en retour d'éclaircir certains aspects du mécanisme,
- Dédire de toutes ces considérations des conclusions pratiques pour l'exploitation en utilisant les résultats des essais déjà effectués.

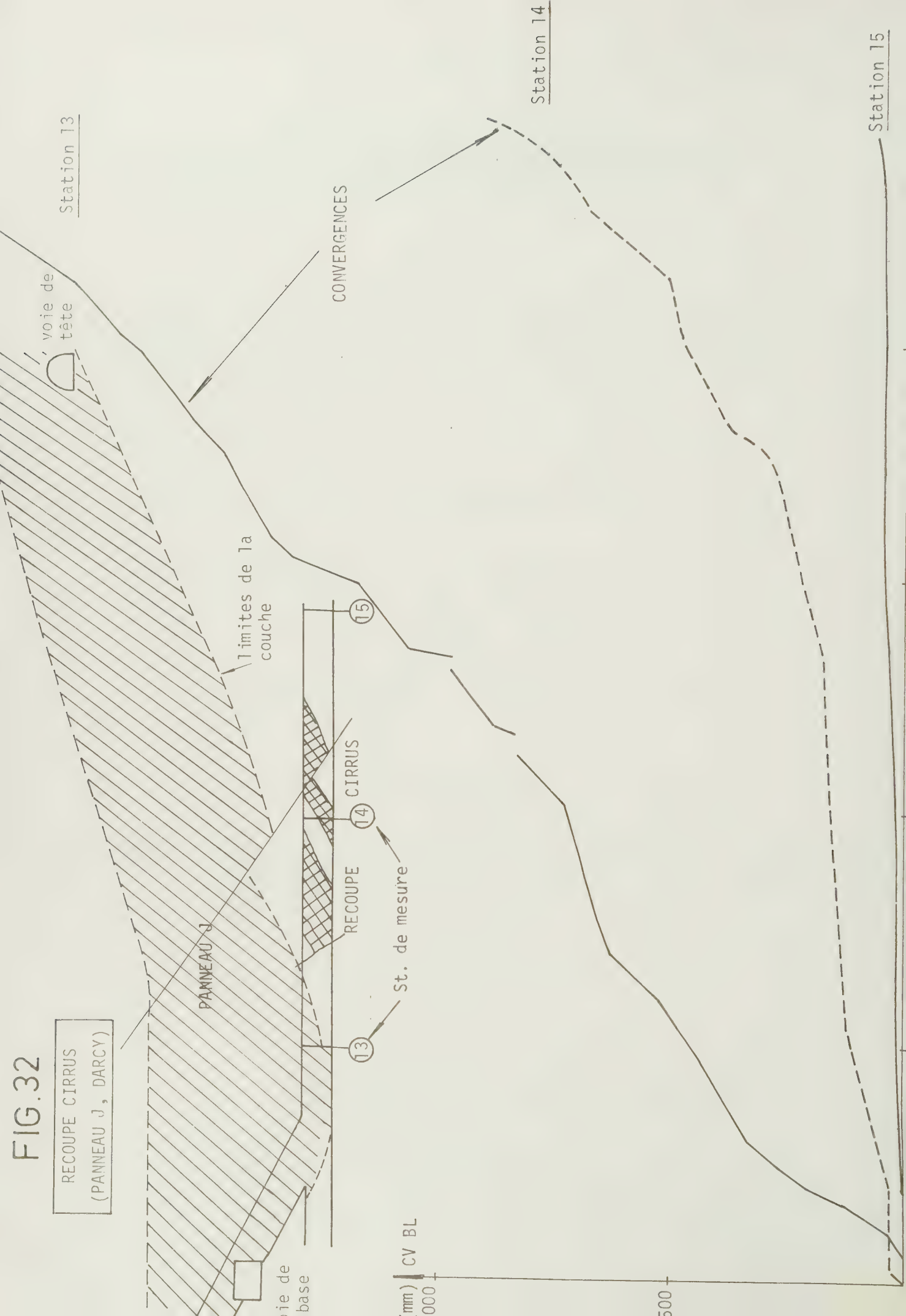
Dans les voies, nous envisagerons successivement : l'influence de l'environnement immédiat de la galerie et l'influence de l'environnement plus lointain, notamment le rôle d'anciennes exploitations ; nous aborderons ensuite le problème de la limitation des déformations avec celui du soutènement et de l'entretien. Enfin, nous envisagerons les modifications que peuvent apporter dans le comportement les variations de quelques facteurs naturels tels que la profondeur ou la tectonique.

I - RÔLE DE L'ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT DE LA GALERIE

Nous avons proposé, pour expliquer le mécanisme en voie, un modèle selon lequel les déformations proviennent de l'augmentation du volume d'une gaine d'une dizaine de mètres de diamètre extérieur, (figure 31).

FIG.32

RECOUPE CIRRUS
(PANNEAU J, DARCY)



entourant complètement la voie. L'expansion de cette gaine est due à la détente qui s'y établit progressivement et dépend de la nature des matériaux qu'elle contient et, plus précisément de leurs caractéristiques mécaniques.

Or, nous supposons jusqu'à présent, la galerie circulaire et de dimensions infinies par rapport au diamètre, ce qui permettait de faire intervenir une symétrie de révolution. Dans la réalité, verticalement la plus ou moins grande proximité des épontes (qui dépend à la fois de la puissance et de la position de la voie dans la couche) doit perturber le phénomène. Il en va de même, horizontalement, de la plus ou moins grande proximité d'une zone déjà défilée.

En d'autres termes, l'étude de l'environnement immédiat de la galerie se ramène à l'analyse du contenu de la gaine (ou zone d'influence) qui l'entoure.

1) Les caractéristiques mécaniques des terrains

Une bonne illustration de l'importance de cet aspect est fournie par la recoupe Cirrus d'accès au panneau J (siège Darcy). La recoupe passe sous le panneau J et entre ensuite en couche pour rejoindre la voie de base Caroline (figure 32).

La station 13 située pratiquement tout entière dans la couche a un comportement analogue aux stations de mesure que nous avons eu l'occasion d'observer dans les voies de desserte de taille, aussi bien qualitativement que quantitativement. La station 15, en revanche creusée au rocher à une quinzaine de mètres sous la couche présente des déformations en comparaison très faibles. Quant à la station 14, à 4 m seulement sous la couche et au milieu des premiers bancs du mur (fortement mêlés de schistes charbonneux), elle a un comportement intermédiaire.



Cependant, ces résultats reposent sur une appréciation empirique des caractéristiques mécaniques des terrains rencontrés. Il faut reconnaître en particulier qu'aucun essai comparatif entre les différents charbons exploités n'a été réalisé, bien qu'on ait remarqué des différences d'amplitude considérables entre chantiers, difficilement explicables autrement que par des variations de caractéristiques du massif.

La difficulté provient de ce que nous ne savons pas mesurer les paramètres λ et m , ni directement, ni en les rattachant à des mesures connues. De plus, ces dernières (essais de dureté CFRCHAR, essai triaxial, essai de compression simple etc...) sont délicates à mettre en oeuvre et à interpréter : la déconsolidation du charbon rend difficile le prélèvement et la conservation d'échantillons représentatifs. D'autre part, le charbon se situant dans le bas des échelles de résistance, la précision de la mesure risque d'être insuffisante pour déceler des variations significatives entre échantillons.

2) Méthode d'étude de l'environnement immédiat

Nous avons cherché à préciser l'influence des conditions d'environnement des voies en réunissant les caractéristiques de toutes les stations de mesures étudiées.

Pour chacune d'elles, nous avons relevé les convergences observées successivement de 10 jours à 100 jours après le creusement de 30 à 200 jours et de 100 à 300 jours (1), ainsi que les paramètres correspondants pour le fluage. D'autre part, nous avons mesuré pour chaque point, la puissance de la couche, la distance de la galerie au mur de la couche et un paramètre de position relative caractérisée par le rapport de la distance au mur sur la distance au toit.

(1) On les note respectivement C_{10}^{100} , C_{30}^{200} , C_{100}^{300}



Nous avons ainsi rassemblé 45 points de mesures (étant entendu que la profondeur est sensiblement la même pour tous, de l'ordre de 800 à 900 m), et nous avons recherché des liaisons statistiques entre les différents paramètres.

Il faut au préalable formuler quelques réserves quant à la précision des mesures de puissance et de position par rapport au mur.

En effet, il est possible dans le cas de couches très irrégulières (panneau T à Darcy par exemple) que le sondage unique qui donne la puissance dans l'axe de la voie ne soit pas représentatif de la puissance moyenne dans toute la zone qui entoure la station.

Par ailleurs, ce n'est pas la proportion de charbon contenu dans la "gaine d'influence" de la galerie qui nous intéresse, mais d'une façon plus générale, la proportion de matériau peu résistant. Or, les limites de la couche sont déterminées en fait par les limites du charbon exploitable. Il peut arriver que les épontes soient, du strict point de vue des caractéristiques mécaniques, de nature très voisine de la couche elle-même, sans que ce renseignement soit intégré à nos données. C'est précisément le cas de Darcy où le mur est très fréquemment composé de plusieurs mètres de schistes ou schistes charbonneux alors qu'en revanche le toit est généralement plus résistant (grès, grès schisteux).

A cette ambiguïté fondamentale, il faut ajouter l'imprécision due à l'évolution dans le temps de la situation de la galerie en fonction des divers rabaissages effectués, évolution trop complexe pour être suivie dans le détail.

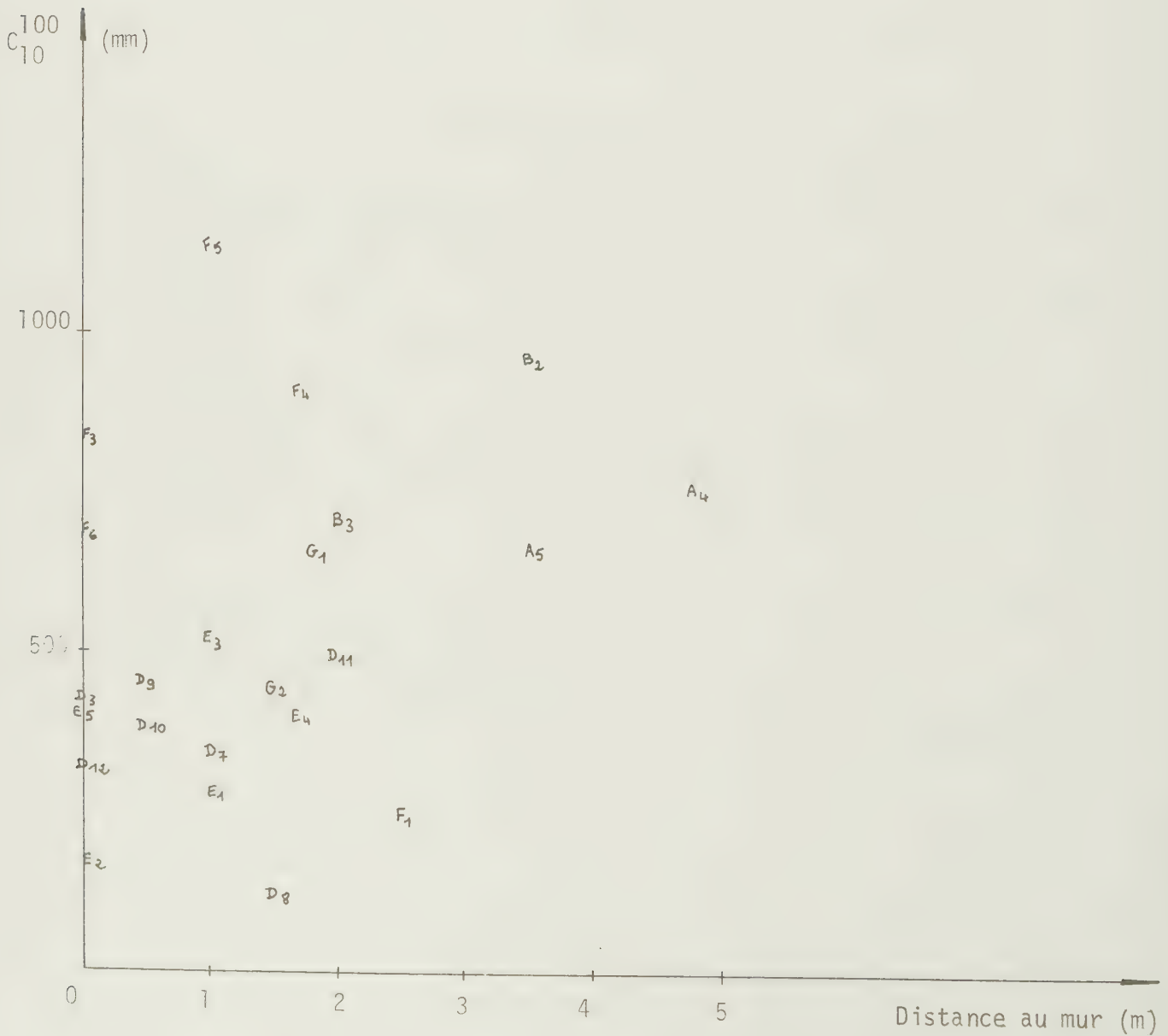
FIG.33

ABSENCE DE CORRELATION ENTRE LE PARAMETRE DE
CREUSEMENT C_{10}^{100} ET LA DISTANCE AU MUR

Pour tous les points, la lettre désigne le chantier

Le chiffre désigne le n° de la station de mesure

A :	voie de base C
B :	voie de base D
C :	voie de tête CD
D :	voie de base T
E :	voie de tête T
F :	voie de tête J
G :	voie de base taille



3) Position de la voie dans la couche

On n'a pu mettre en évidence de liaison significative entre les différents paramètres de creusement et la distance de la voie au mur, pas plus d'ailleurs qu'avec le facteur de position relative (1). La dispersion des mesures est trop grande par rapport à la faible marge de variation de la distance au mur comme le montrent les nuages de points obtenus (Figure 33).

Du point de vue pratique, dans les exploitations à soutirage, la situation de la voie dans la couche est assujettie à deux impératifs contradictoires.

La nécessité du soutirage ultérieur incite à creuser les voies au voisinage du mur, mais le souci de faciliter les travaux d'entretien en favorisant les rabaissages conduit souvent à laisser une planche de charbon d'un ou deux mètres en moyenné sous la sole.

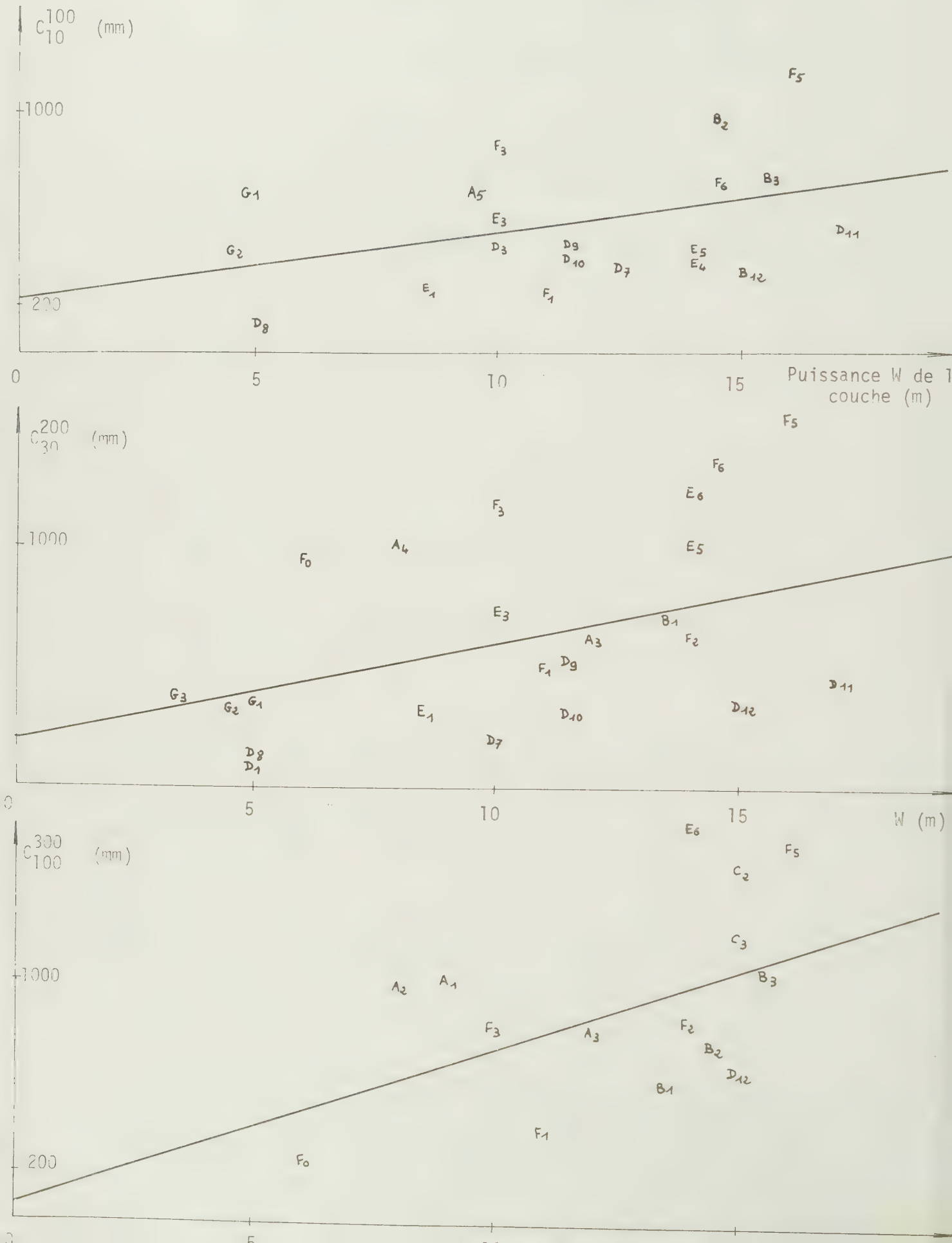
Aussi la question s'est-elle posée de déterminer une position optimale, conciliant ces impératifs d'exploitation avec ceux des mouvements de terrains.

Notre étude montre que, l'épaisseur de la planche de charbon au mur (du moins dans sa marge de variation permise) n'influe pas de façon significative sur le comportement. Le choix qui est fait actuellement consistant à laisser un ou deux mètres de charbon sous la voie, est satisfaisant.

D'une façon plus générale, nous dirons que la contiguité d'une éponte n'est susceptible d'améliorer le comportement d'une galerie en couche puissante, qu'à la condition que l'éponte concernée possède une résistance mécanique nettement plus grande que le charbon lui-même.

(1) Nous avons également eu l'occasion d'étudier en Aquitaine des galeries systématiquement creusées au toit (méthode par tranches descendantes). Mais la différence de profondeur est telle (200 m au lieu de 800 ou 900 m) qu'elle interdit toute comparaison avec le cas de Blanzky et des Cévennes. Au demeurant, avec cette méthode d'exploitation, la situation de la voie dans la couche est toujours imposée.

LIAISONS ENTRE LES PARAMETRES DE CREUSEMENT
ET LA PUISSANCE DE LA COUCHE



4) Puissance de la couche

Les liaisons obtenues entre les différents paramètres de creusement et la puissance de la couche sont significatives. Mais la dispersion est très forte (figure 34). On trouve que les variations de puissance n'entrent que pour une part minime ($\rho^2 = 0,2$) dans l'explication des variations de convergences. Un tel résultat empêche pour l'instant toute prévision des déformations à attendre dans une voie creusée en couche puissante.

Les réserves que nous avons faites sur la précision des mesures ne justifient pas à elles seules la médiocrité de la liaison.

Il faut donc admettre que d'autres facteurs influent sur l'amplitude des mouvements. A ce sujet, la liaison entre le paramètre C_{10}^{100} et la puissance donnent une indication intéressante. On voit apparaître deux familles de points qui recouvrent la même gamme de valeurs de W : celle qui rassemble les stations de mesures du quartier Nord de Darcy (panneaux C, D, J) et peut être la voie de base 3 à Ricard se distingue de celle qui rassemble les mesures du quartier Sud (panneau T). On ne retrouve pas cette division sur les autres paramètres, mais on peut néanmoins retenir l'idée d'autres influences prépondérantes, notamment celle du voisinage d'anciens travaux que nous allons étudier maintenant.

Nous concluerons en soulignant que les amplitudes de toutes les déformations (aussi bien au creusement, au passage de la taille ou en régime permanent) varient dans le même sens que l'épaisseur de la couche. Ce résultat concorde avec la description que nous avons proposée pour le mécanisme.

5) Proximité d'une partie de la couche déjà dépilée

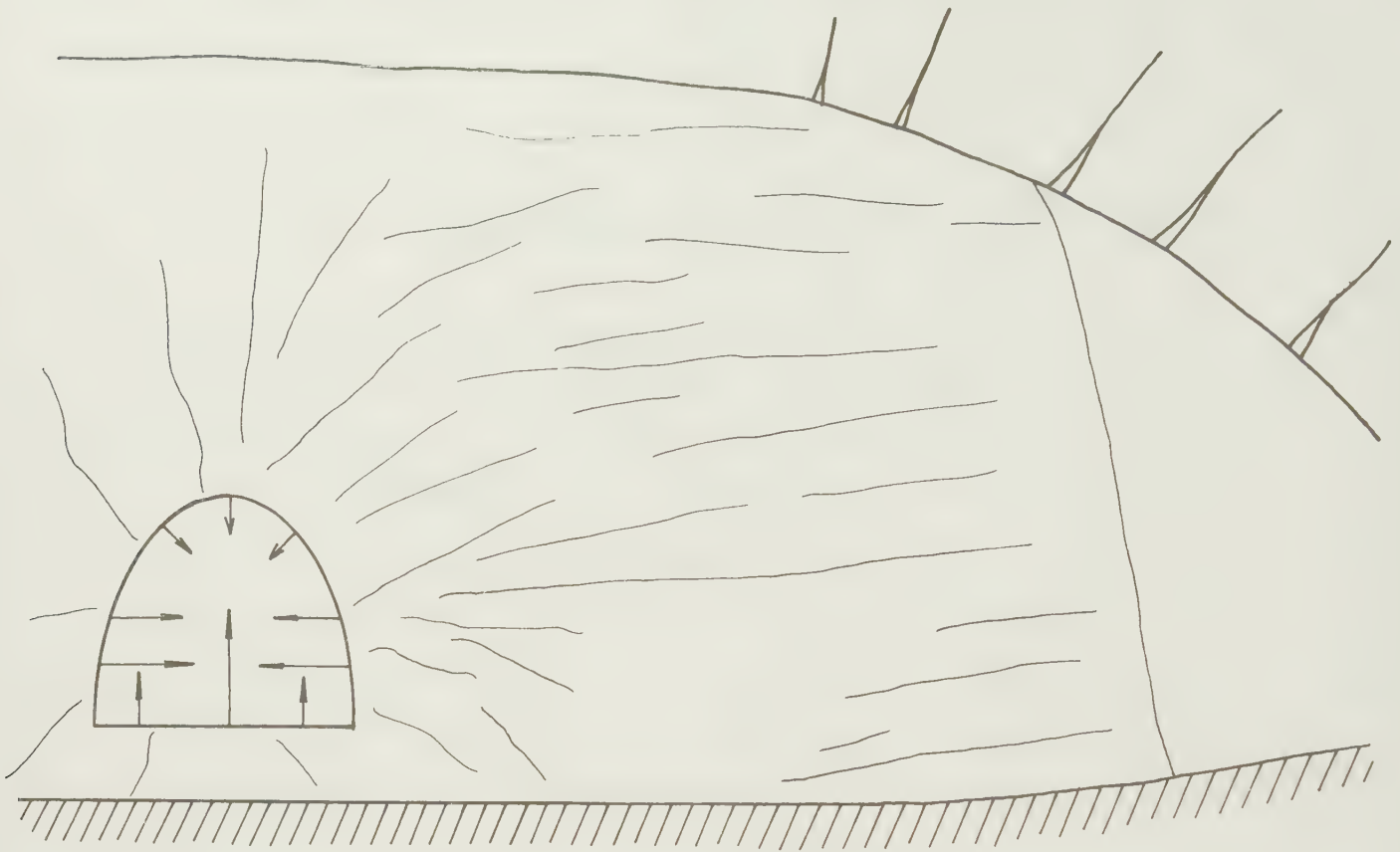
Les voies de base C et D, la voie de tête J étaient tracées le long d'anciennes exploitations de la même couche, avec la particularité, pour la voie de base D, d'en être séparée par un pilier d'une dizaine de mètres de largeur (du moins dans la zone expérimentale).

Les conséquences d'une telle situation ont un grand intérêt pratique car elle se rencontre fréquemment.

Nous nous arrêterons sur le fait que la voie n'est plus creusée dans un matériau vierge. La gaine qui entoure ces galeries contient un charbon qui a déjà subi lors de l'exploitation antérieure, une première détente suivie d'une recompression consécutive à l'affaissement du toit du panneau voisin. On a donc d'emblée, affaire à un matériau pulvérulent. De ce fait, l'inertie du massif à enregistrer les effets de la détente (caractérisée par les paramètres λ et m que nous avons introduits pour la description du mécanisme) est plus grande. Pour un charbon déconsolidé en effet, la continuité entre les éléments de matière voisins est moins bien assurée ce qui entraîne une transmission plus lente de l'expansion.

En conséquence, il faut s'attendre dès le début à des déformations fortes. C'est ce que confirme l'examen des courbes expérimentales : la phase initiale du premier mois de creusement est peu marquée (particulièrement pour J et D) et la phase d'évolution linéaire des mouvements apparaît rapidement avec une vitesse importante (4 à 5 mm/j) On observe donc dès le début du régime permanent des vitesses de déformations qui, pour les voies en vierge, n'apparaissent qu'après le redémarrage.

Toutefois, lorsque la voie est tout au bord des anciens travaux, sa symétrie est détruite. Le développement de la fissuration ne concerne plus que le parement situé du côté du massif vierge, c'est-à-dire un demi-espace, ce qui est susceptible de compenser en partie les fortes déformations prévisibles. Il en est ainsi de la voie de base C



SCHEMAS DES DEFORMATIONS LORSQUE LA
VOIE LONGE UNE ANCIENNE EXPLOITATION



CAS DE LA VOIE AU BORD D'UNE ANCIENNE EXPLOITATION

où l'on assiste à une nette réduction des déformations après quelques mois. Inversement, la voie de base D, se distingue pendant toute sa durée de vie par des mouvements exceptionnellement importants (la convergence cumulée du creusement au foudroyage atteint 7 m). Il faut en effet évacuer le pilier d'une dizaine de mètres dans la voie, avant qu'une position d'équilibre puisse être atteinte. Une telle situation est très défavorable (figure 35).

On n'observe pas dans ces chantiers de redémarrage des mouvements. Nous avons expliqué le phénomène du redémarrage par les effets de l'affaissement du toit lorsque la déconsolidation du massif de charbon atteint une ampleur et une étendue suffisantes. Quand la voie longe une ancienne exploitation, celle-ci a déjà subi l'affaissement du toit qui ne peut plus guère évoluer avant l'approche de la nouvelle taille.

Ces observations sont peu nombreuses et il conviendrait de les confirmer à l'aide d'expérimentations complémentaires. La conclusion que nous pouvons présentement avancer, c'est que le voisinage d'une ancienne exploitation dans la même couche peut constituer un élément favorable à long terme à la tenue d'un chantier, à condition que la nouvelle galerie soit tracée aussi près que possible des anciens travaux. Dans le cas où elle en est séparée par un pilier d'une dizaine de mètres, les difficultés semblent être accentuées.

6) Conclusion générale

Nous avons pu dégager trois points ayant une certaine portée pratique, dans l'étude de l'environnement des galeries de couches épaisses

- Dans les chantiers rencontrés, la situation de la voie dans la couche n'est pas apparue comme un facteur déterminant pour le mécanisme.

Aussi, le fait de laisser au creusement un à deux mètres de charbon sous la voie, constitue une solution satisfaisante, dans la mesure où elle améliore les conditions de l'entretien futur.



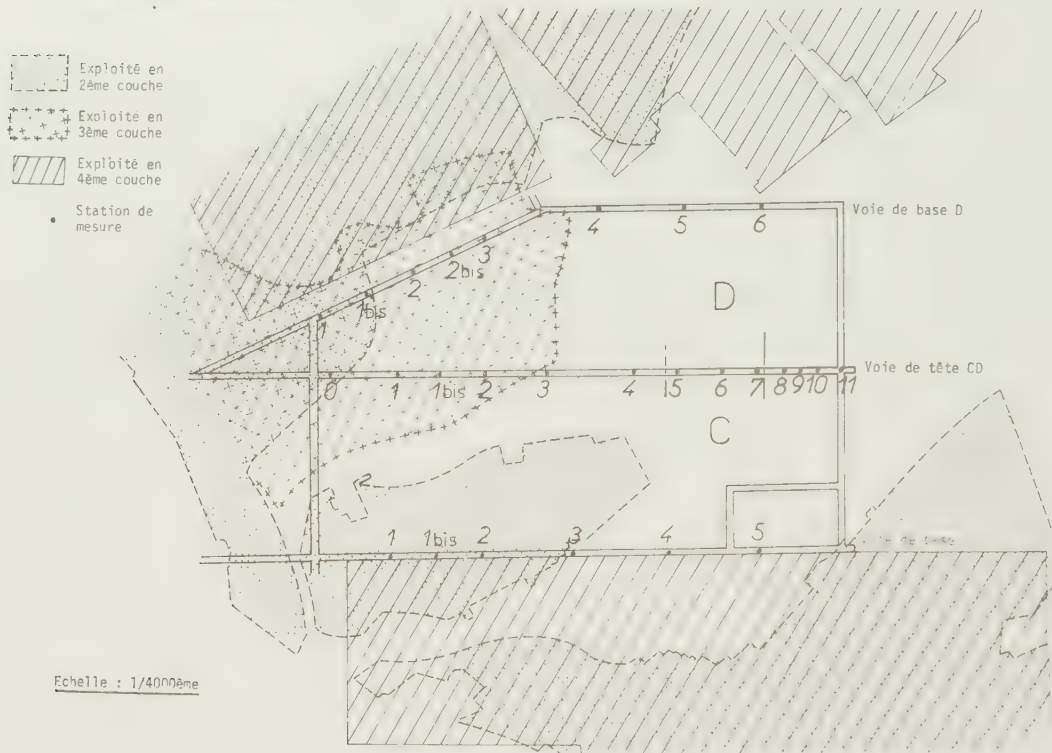
- Nous avons montré qu'on pouvait s'attendre à des déformations plus fortes quand la puissance de la couche augmente, mais sans qu'on puisse en prévoir l'ampleur à l'avance.

- Lors du dépilage de panneaux contigus à une ancienne exploitation, il est préférable de creuser les nouvelles voies aussi près que possible de vieux travaux. L'abandon entre les deux d'un pilier d'une dizaine de mètres est à éviter.

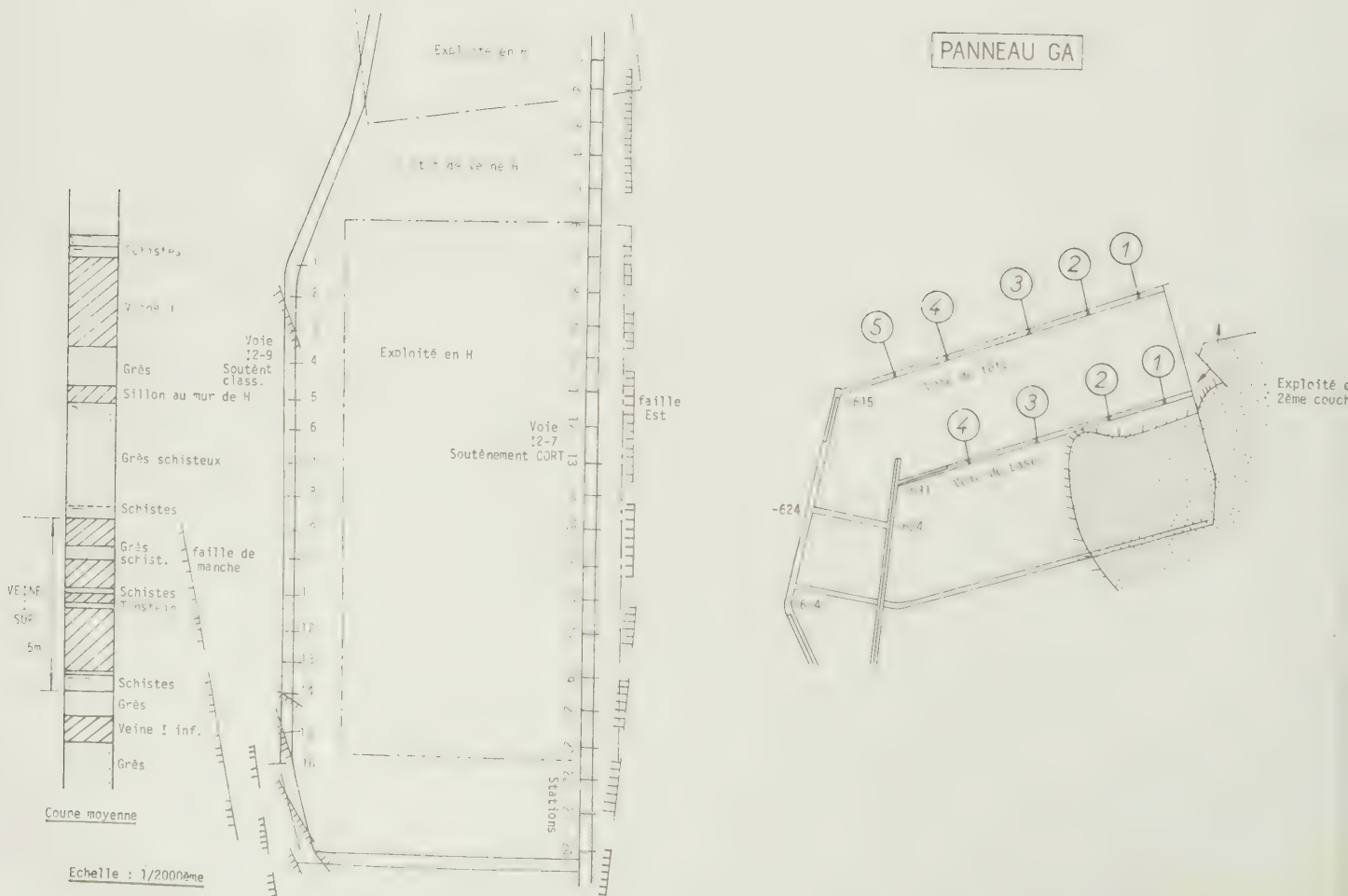
SUPERPOSITION DES DEPILAGES

FIG. 36

PANNEAUX C et D - DARCY



VEINE I SUPÉRIEURE - SIEGE TRONQUÉ, AQUITAINE



II - ROLE DES ANCIENNES EXPLOITATIONS VOISINES

Les études menées dans les couches minces ont toujours mis en évidence l'importance des anciennes exploitations situées au voisinage d'une galerie, notamment les exploitations sus-jacentes. Nous avons tout naturellement cherché à comparer ces connaissances antérieures avec les observations nouvelles que nous avons pu faire en couche puissante, dans des conditions analogues.

1) Influence des conditions sus-jacentes

Habituellement, la présence d'une zone déjà défilée au-dessus d'une galerie favorise sa tenue, en assurant une détente des terrains, avant le creusement. Au contraire, les limites d'exploitation et les stots provoquent des concentrations de contraintes qui engendrent des difficultés dans les ouvrages sous-jacents.

Ces différentes situations se sont présentées au cours de nos expérimentations :

- Les premières stations de mesures des trois voies des panneaux C et D, étaient situées sous des zones exploitées en 2ème et 3ème couche. Les stations 2 et 3 de la voie de base du panneau G^A étaient proches de l'aplomb d'une limite d'exploitation de 2ème couche (voir figure 36).

- Au siège Tronquié des Houillères d'Aquitaine, on a pu étudier les deux voies de desserte I₂₋₇ et I₂₋₉ de la taille I_{6B} (1).

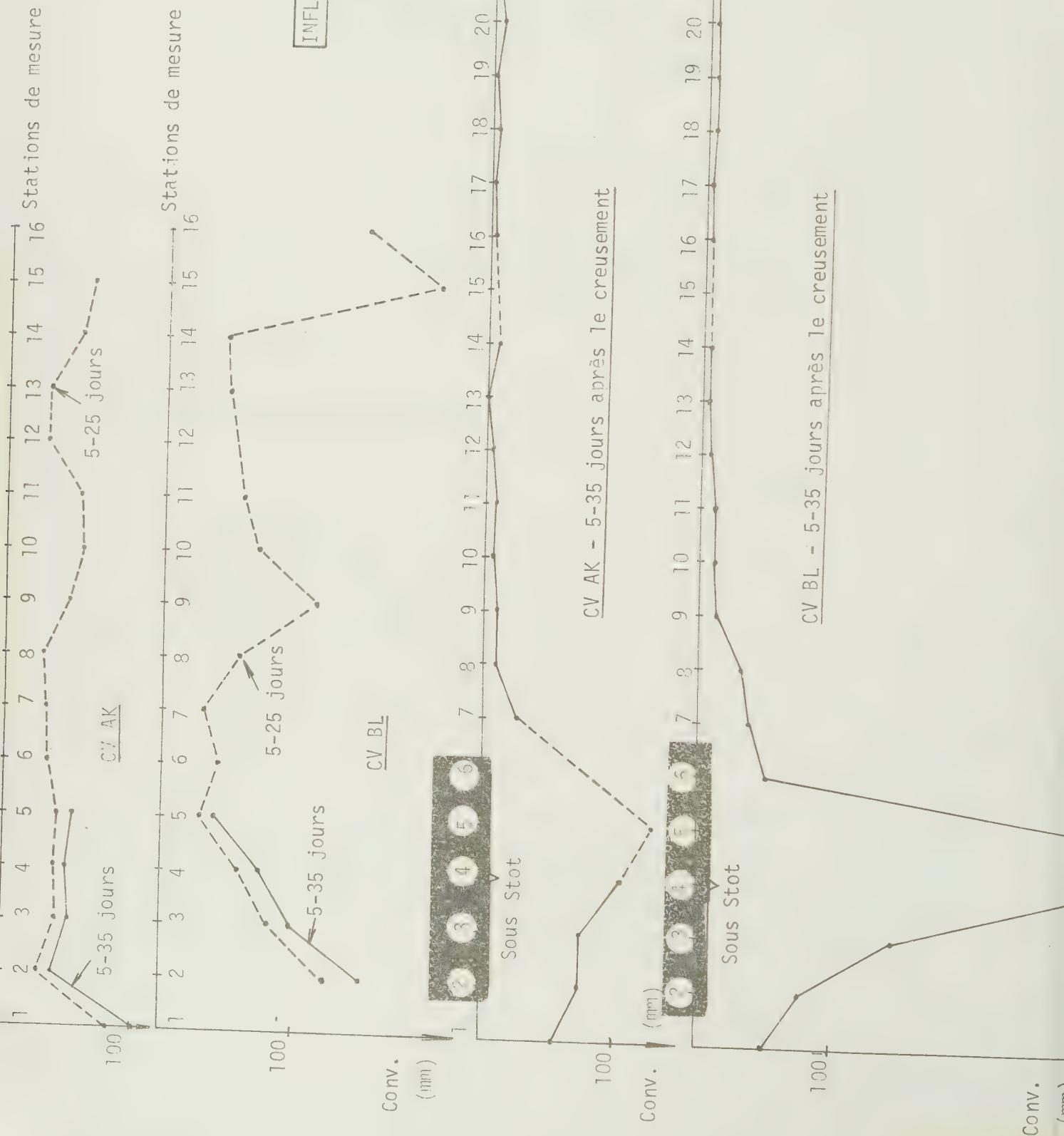
(1) Cette taille a assuré le défilage de la première tranche de la veine 1 supérieure, d'une puissance de 5 m et en partie située sous des zones précédemment exploitées de la veine H (elle-même d'une puissance de 2,50 m). La hauteur de stapes est limitée à 5 m. et la profondeur à environ 300 m.

FIG. 37

CARMAUX (12 - 9)

INFLUENCE DES ELEMENTS S'US-JACENTS

Profils des convergences
au creusement



CARMAUX (12 - 7)

Alors que la voie I_{2-9} est tout entière sous zone vierge, la voie I_{2-7} est sous zone exploitée, excepté les stations 2 à 6 situées sous un stot abandonné par l'exploitation de H (figure 36).

Dans ce dernier cas, les résultats des mesures de convergence et de fluage font apparaître, aussi bien au creusement qu'au passage de la taille, l'influence très bénéfique de la détente à l'aplomb des zones antérieurement dépilées (où les mouvements sont de 3 à 5 fois plus faibles que sous la zone vierge) (Figure 37). En revanche, dans les panneaux C et D, on n'a décelé aucune différence significative dans le comportement des deux zones (figure 38). En fait, la hauteur de stampes était grande (de l'ordre de 100 m entre les voies étudiées et les couches anciennement dépilées) et les phénomènes ont ainsi pu être masqués d'autant plus facilement par d'autres influences prépondérantes. En particulier, les voies de base C et D étaient sans doute beaucoup plus affectées par la proximité d'anciens travaux dans la même couche.

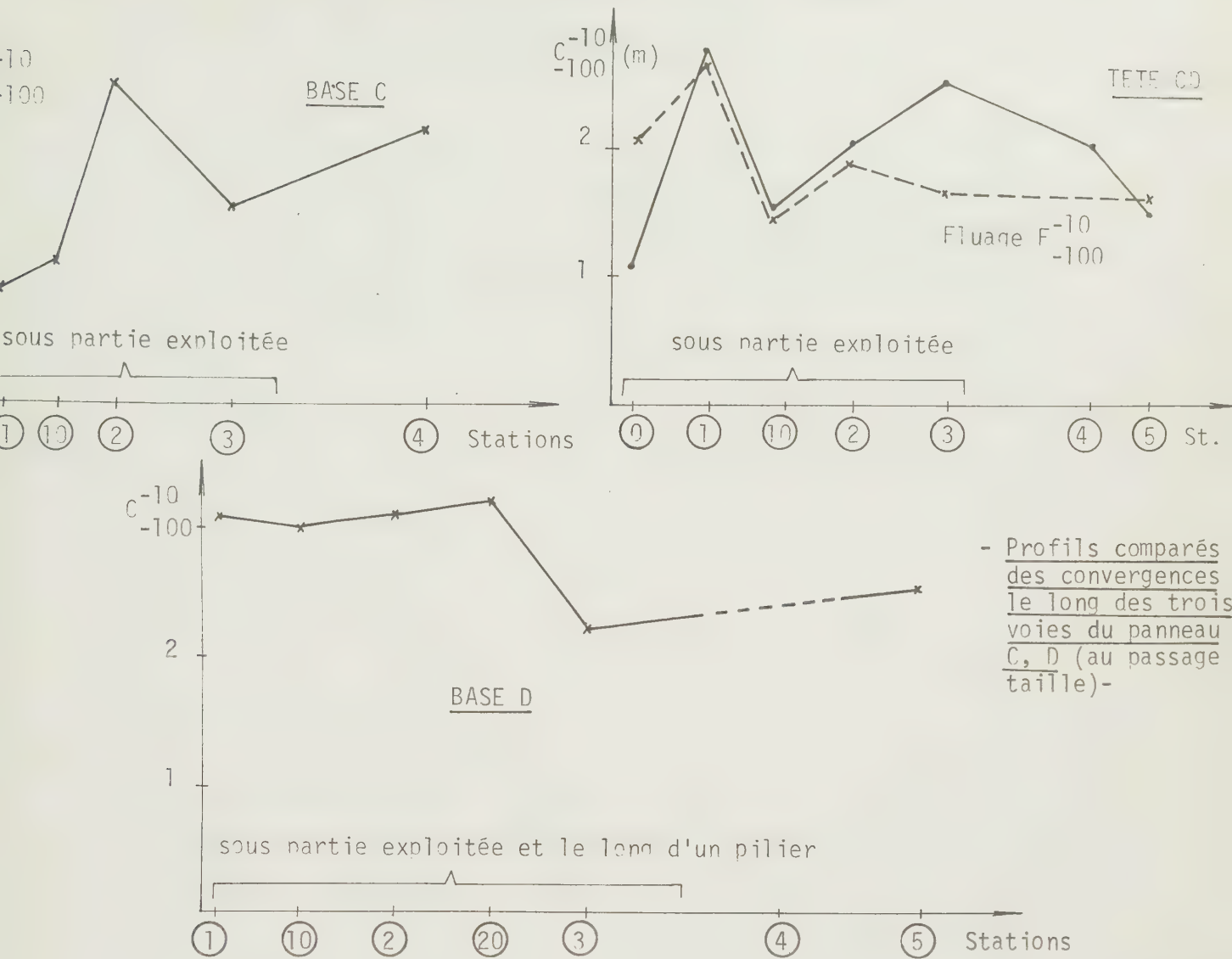
En ce qui concerne les effets limites et les effets de stots, on peut faire les mêmes remarques. Alors qu'on ne relève aucune influence notable à GA ou à C.D à Tronquié au contraire, le stot abandonné a des effets extrêmement néfastes puisque les mouvements sont, sous son influence, pratiquement décuplés par rapport aux autres stations de la même voie.

Devant ces rares cas expérimentaux, aussi éloignés les uns des autres, il est difficile de tirer des conclusions précises.

En théorie, la détente du massif est d'autant plus importante, que les contraintes initiales dans le massif avant creusement étaient grandes. En conséquence, l'amplitude des déformations devrait varier comme les contraintes initiales du moins dans la phase initiale de comportement élastique (en régime permanent, on ne possède pas de renseignements sur la liaison entre variations de contraintes et déformations).

INFLUENCE DES EXPLOITATIONS SUS-JACENTES
SUR LE COMPORTEMENT DES VOIES

FIG.38



Courbes moyennes en avant passage taille pour la voie de tête C, D -

Zone A : sous partie exploitée
Zone B : sous partie vierge

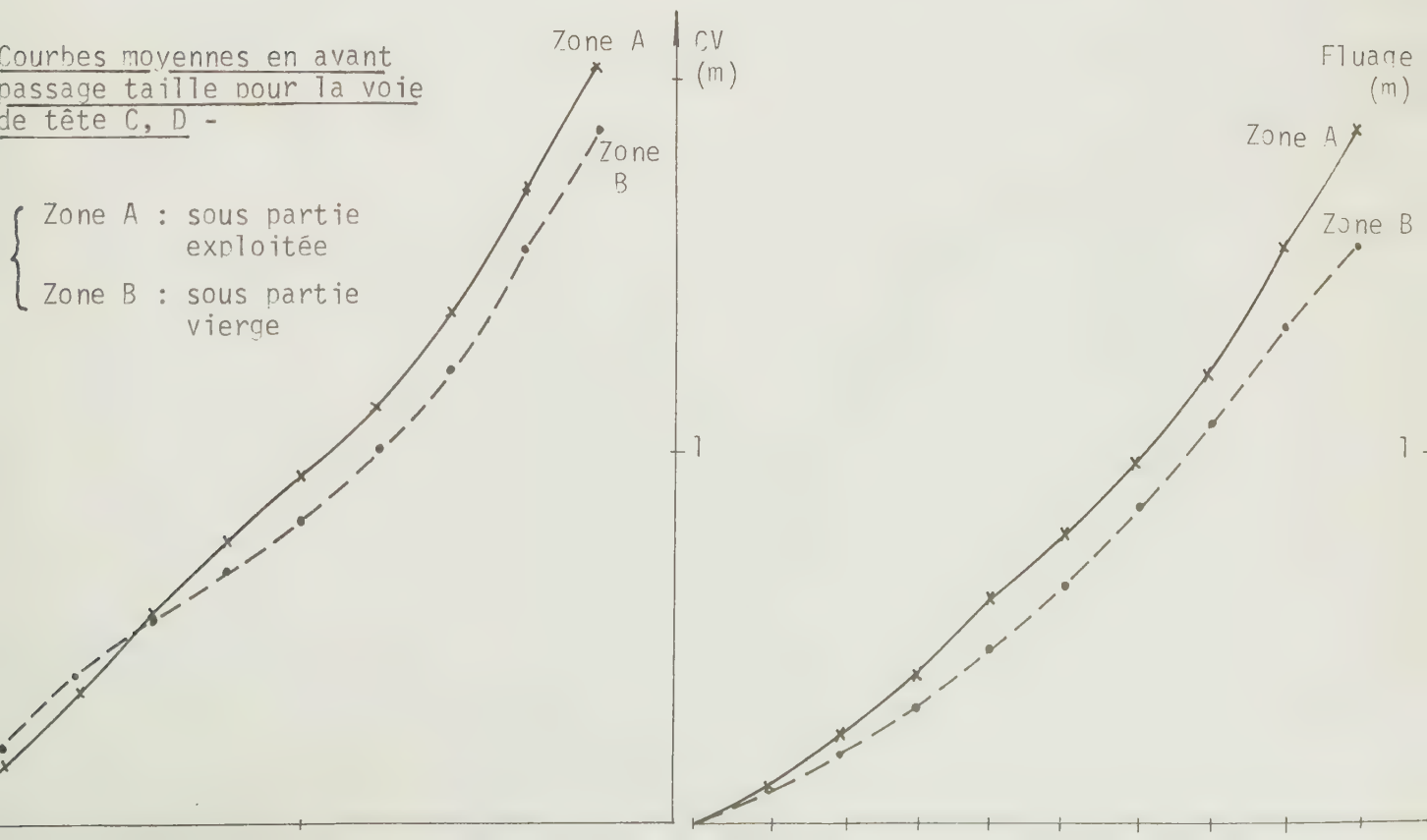
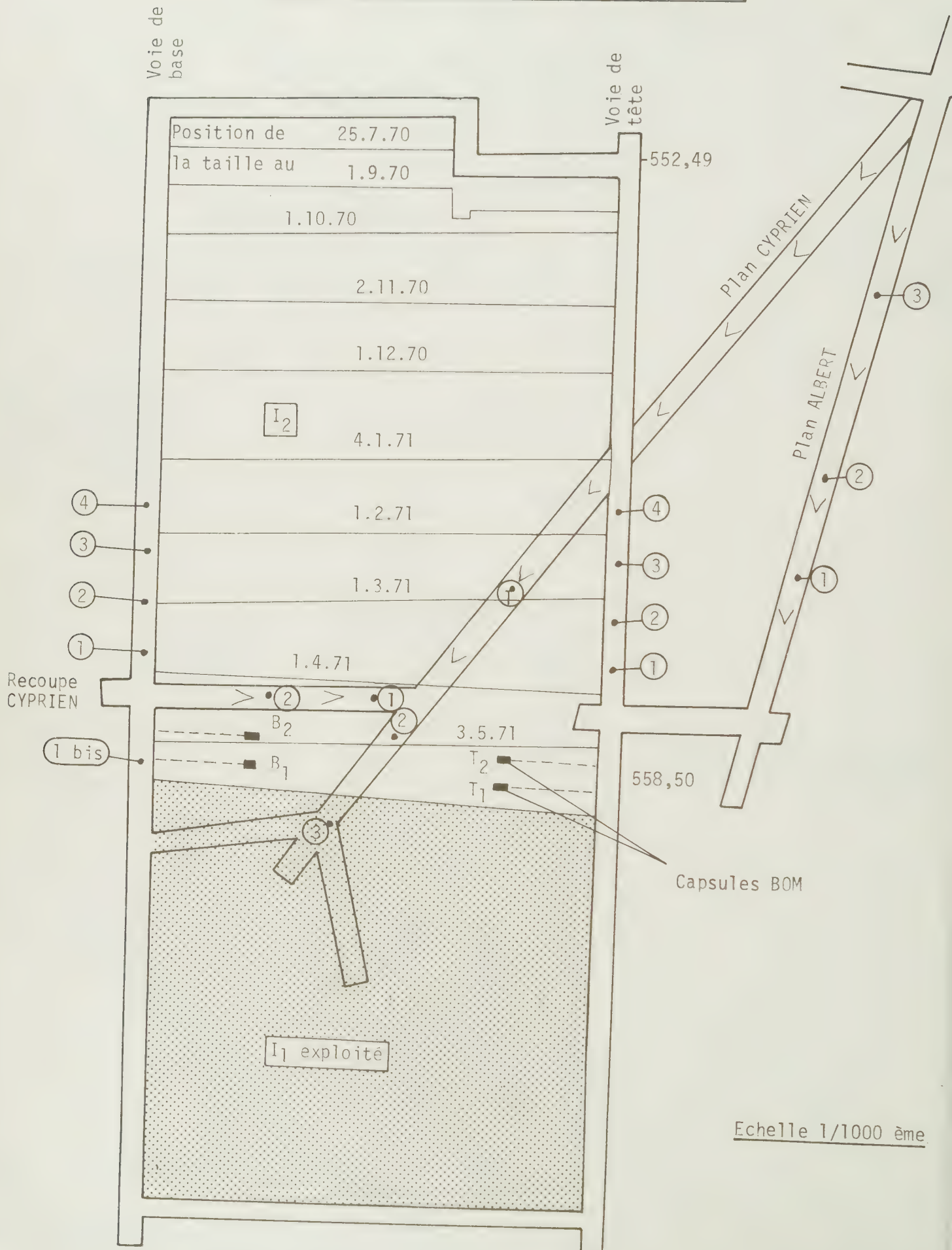


FIG. 39

ETUDE DE L'EFFET PILIER - PLAN D'EXPLOITATION DU PANNEAU I (SIEGE DARCY, BLANZY)



Echelle 1/1000 ème

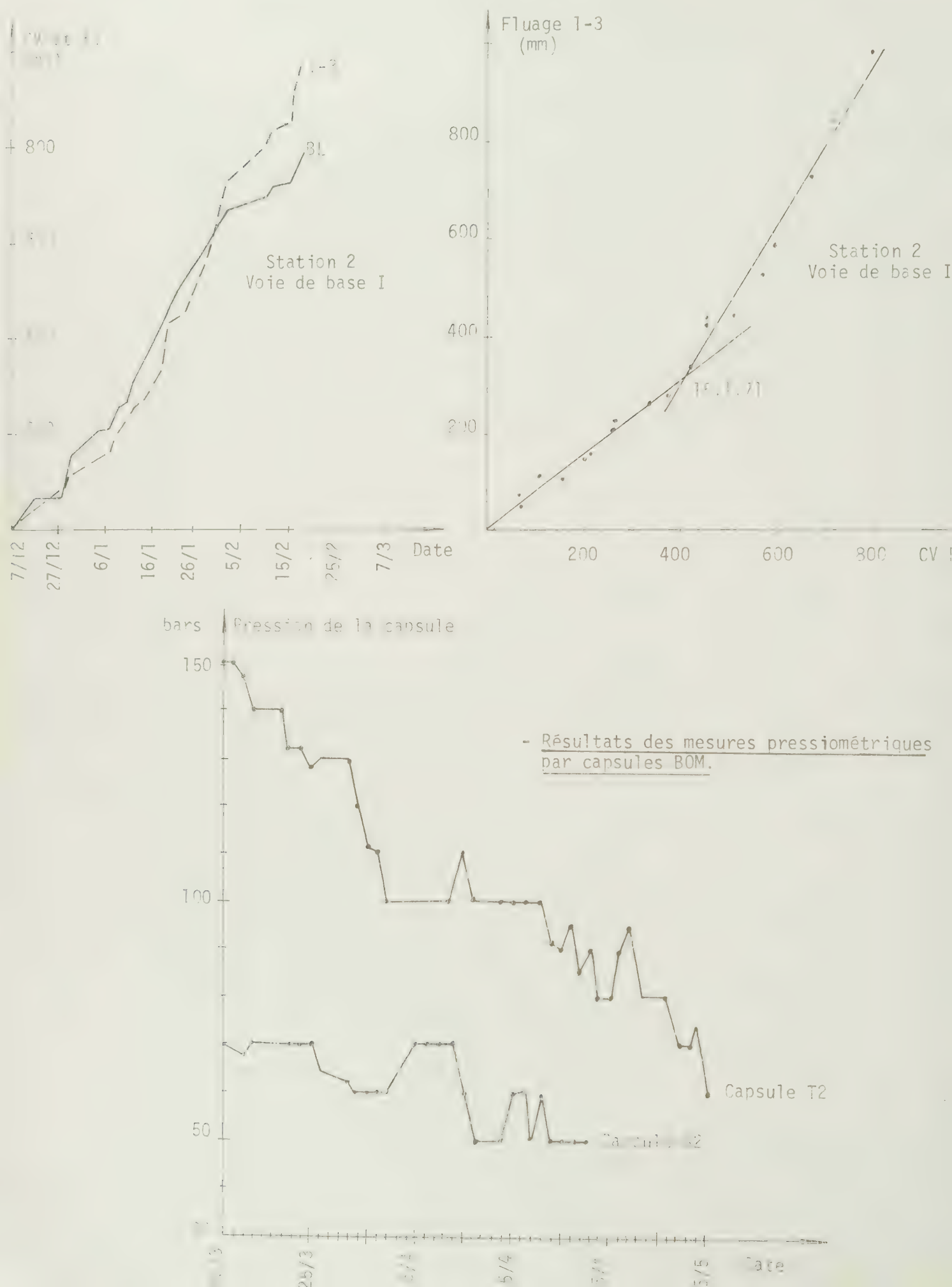
On sait par ailleurs, que la configuration des exploitations antérieures sus-jacentes modifie l'état de contraintes, soit sous la forme de diminution (à l'aplomb des zones déjà dépilées), soit au contraire sous la forme d'accumulation de contraintes (à l'aplomb des limites d'exploitation ou des stots). Il n'est donc pas surprenant d'observer une évolution correspondante pour les convergences à Carmaux où les mesures portent sur le premier mois après le creusement. Toutefois, dans les galeries en couches puissantes où les déformations sont toutes très fortes, (comme c'est le cas à Darcy) et où les mesures concernent un charbon déjà pulvérulent, ce phénomène peut devenir du second ordre par rapport à d'autres facteurs prépondérants.

2) L'effet pilier

"L'effet pilier" dont les conséquences sont assez bien connues en couches minces (poinçonnement des terrains environnants) a pu être étudié au panneau I du siège Darcy où la taille à soutirage I_2 rabattait sur les vieux travaux de la taille I_1 . Elle découpait ainsi, entre les deux, un pilier dont la largeur allait en diminuant (99 m au 1/11/70, 67 m au 1/1/71, 23 m au 1/4/71 avec une largeur constante (celle de la taille : 90 m). La couche exploitée avait une puissance de 13 à 15 m et était située à 900 m de profondeur (figure 39).

Les mesures de convergences et de fluages ont été prises dans les voies de tête et de base du panneau I_2 ainsi que dans les plans sous-jacents Albert et Cyprien. Elles étaient assorties de mesures pressiométriques réalisées à l'aide de capsules BOM-CERCHAR installées dans le pilier même, mais seulement vers la fin de l'expérimentation (mars 71).

FIG. 40



L'ensemble de ces mesures concorde pour montrer qu'aucune perturbation grave n'a affecté, jusqu'à la fin de l'exploitation du pilier, les chantiers situés dans la couche pas plus que les ouvrages sous-jacents.

Selon certains indices, il semble que la fissuration totale du pilier ait été atteinte lorsque sa largeur était de 50 à 60 m. C'est à ce moment en effet, qu'on a décelé une accélération du fluage dans les voies par rapport à la convergence (surtout net pour la station 2 de la voie de base). Peu de temps avant ce phénomène était signalé un fort dégagement de grisou qui s'est prolongé jusqu'à la fin du défilage et qu'on a mis en relation avec l'écrasement total du pilier. Ajoutons enfin, que les capsules pressiométriques n'ayant montré aucune mise en charge, on a été conduit à penser qu'elles avaient été installées dans un pilier déjà fissuré (il avait environ 30 m de large lors de leur mise en place) Figure 40 .

De fait, si on admet l'hypothèse d'une culée frontale à une trentaine de mètres en avant du front, il n'est pas surprenant que le pilier soit totalement fissuré par elle, lorsqu'il atteint une soixantaine de mètres de large. La zone de surcontraintes qui précède le front I_2 rejoint en effet alors celle qui avait précédé le front I_1 .

Ainsi, les dimensions du pilier sont assez grandes avant que la fissuration soit totale, pour qu'on n'ait pas accumulation de contraintes sur une faible surface et poinçonnement des terrains, comme dans le cas des couches minces (où la largeur critique est 20 à 30 m).

De plus, étant donné sa hauteur très importante, le pilier subit certainement un effritement superficiel par écaillage avant même le dépassement de sa limite de résistance élastique.

Ces raisons expliquent qu'on n'observe pas les perturbations considérables (gonflement du daisne, fluage, dégradation des ouvrages sous-jacents....) qui accompagnent habituellement l'effet pilier dans les couches de puissance inférieure à 3 m.

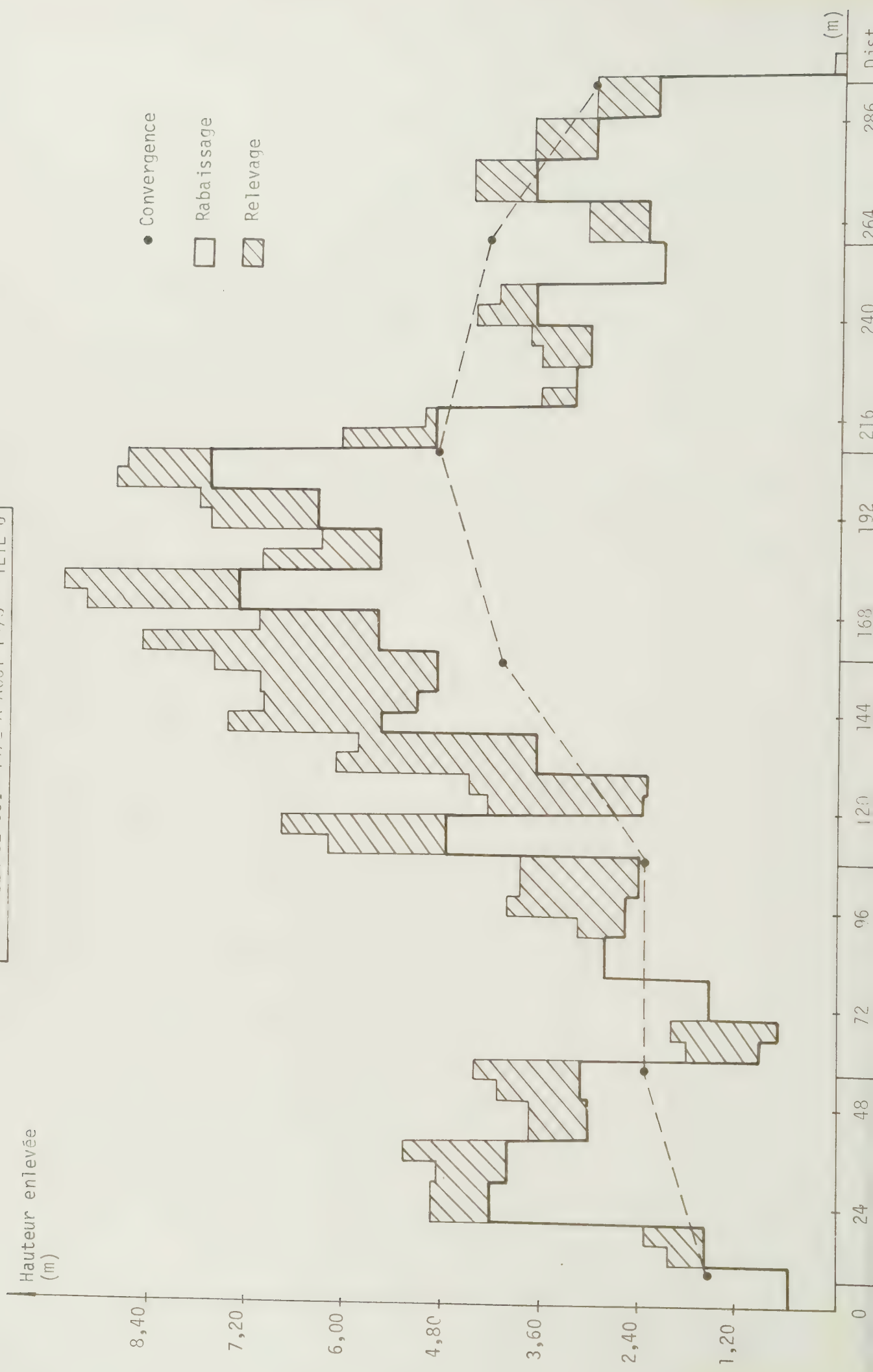
3) Conclusion générale

D'une façon générale, le voisinage d'anciennes exploitations est susceptible d'influencer le comportement des galeries en couches puissantes suivant un processus comparable à ce qu'on observe habituellement en veines minces. A ce titre, il est préférable d'éviter dans la mesure du possible les situations à l'aplomb de stots ou de limites d'exploitations.

Mais les effets ressentis dans les voies peuvent être considérablement atténués en couches épaisses. C'est ainsi que l'effet pilier est apparu pratiquement inexistant.

FIG. 41

ENTRETIEN DE JUIN 1972 A AOUT 1973 - TETE J



III - LE SOUTÈNEMENT, L'ENTRETIEN ET LE PROBLÈME DE LA LIMITATION DES MOUVEMENTS

1) Rôle du soutènement

a) Répartition des convergences entre le mur et la couronne

Toutes les galeries où nous avons conduit nos expérimentations étaient équipées du soutènement classique : cadres TH, maintenant parfois un grillage. Des essais de renforcement divers ont été tentés. Mais quel que soit le soutènement apporté, il ne cherchait à contrarier l'expansion du charbon que sur trois côtés (la couronne et les parements) sans jamais s'opposer aux mouvements du mur. En conséquence, ce charbon extrêmement déconsolidé, pulvérisé, a tendance à contourner en partie l'obstacle du soutènement et à se reporter vers le mur sous l'effet de la poussée du massif. Il s'agit d'une sorte d'écoulement de la matière autour de la voie, venant alimenter continuellement le soulèvement de la sole. Ce processus n'a pu être observé directement, mais il s'est imposé à nous à la suite d'une série de remarques concordantes.

Ainsi, les mesures de mouvements absolus effectuées dans ces chantiers, notamment au Bouchage et à 13ème Michon, ont toujours mis en évidence la remarquable stabilité de la couronne comparativement aux mouvements du mur qui représentaient la quasi totalité des convergences (précisons tout de même que ces chantiers étaient toujours contre le toit de la couche).

D'autre part, dans toutes les galeries où des relevés de l'entretien ont été faits systématiquement, la convergence et la hauteur rabaissée sont toujours liées, mais cette dernière est dans l'ensemble nettement plus forte que la convergence (figure 41). L'ordre de grandeur de leur différence ne permet pas de l'attribuer au seul foisonnement du charbon sur le premier mètre de la sole ; celui-ci en effet n'est responsable que de 10 à 20 cm de gonflement compte-tenu du taux d'expansion compris entre 10 et 20 %. Ceci nous oblige à admettre qu'entre le point d'ancrage

EXPANSIONS DE LA COURONNE VOIE DE TETE J



Station N° 22

{ convergence BL — x —
 { convergence DL - - -
 { convergence EL o o

CV (mm)

1000

500

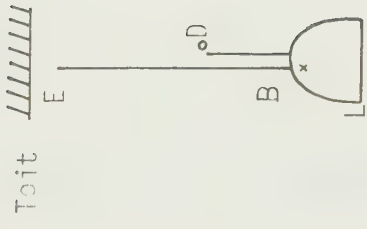
Expansion

100

dist. au
front de

FIG. 42

EXPANSIONS DE LA COURONNE VOIE DE TETE T



Station N° 5

Toit

{ convergence BL — x —
 { convergence DL - - -
 { convergence EL o o

CV (mm)

1000

500

Rétraction

Dist. au
front de
taile

400

-21m

-32m

-53m

-80m

-107

de la broche de convergence à la sole et la sole elle-même, le volume de charbon enlevé provient en grande partie d'ailleurs. Son origine ne peut pas être uniquement constituée par les salissures tombant des convoyeurs, car le phénomène n'est pas limité aux voies de déblocage, ni par les chutes de charbon en provenance de la couronne qui ne sont pas si importantes. Il reste donc l'explication des transferts de matière, tout autour de la voie jusqu'au mur.

La mesure des expansions dans la couronne donne à ce sujet une indication intéressante. Entre des points situés à différents niveaux, du cintre au toit, on note des amplitudes d'expansions anormalement faibles et on assiste même à des expansions négatives (rétractions). On interprète ce résultat (à l'exclusion de la brève période d'expansion réelle qui suit immédiatement le creusement) comme le signe de pertes de matière dans la couronne. Nous présentons ces mesures pour des stations des panneaux J, T et L (figures 42 et 43). Parallèlement, on a noté l'évolution originale d'une mesure d'expansion prise obliquement vers le mur au pied des cadres. Alors que toutes les expansions verticales au mur se stabilisent après un certain temps, celle-ci augmente régulièrement.

Au demeurant, la façon dont se déforme le soutènement révèle le type de sollicitations qu'il subit. Les cintres présentent souvent une déformation de la couronne en ogive, pendant que les parements se resserrent. De même voit-on souvent, aux parements, les pieds de cadres se rapprocher davantage que les autres parties (1).

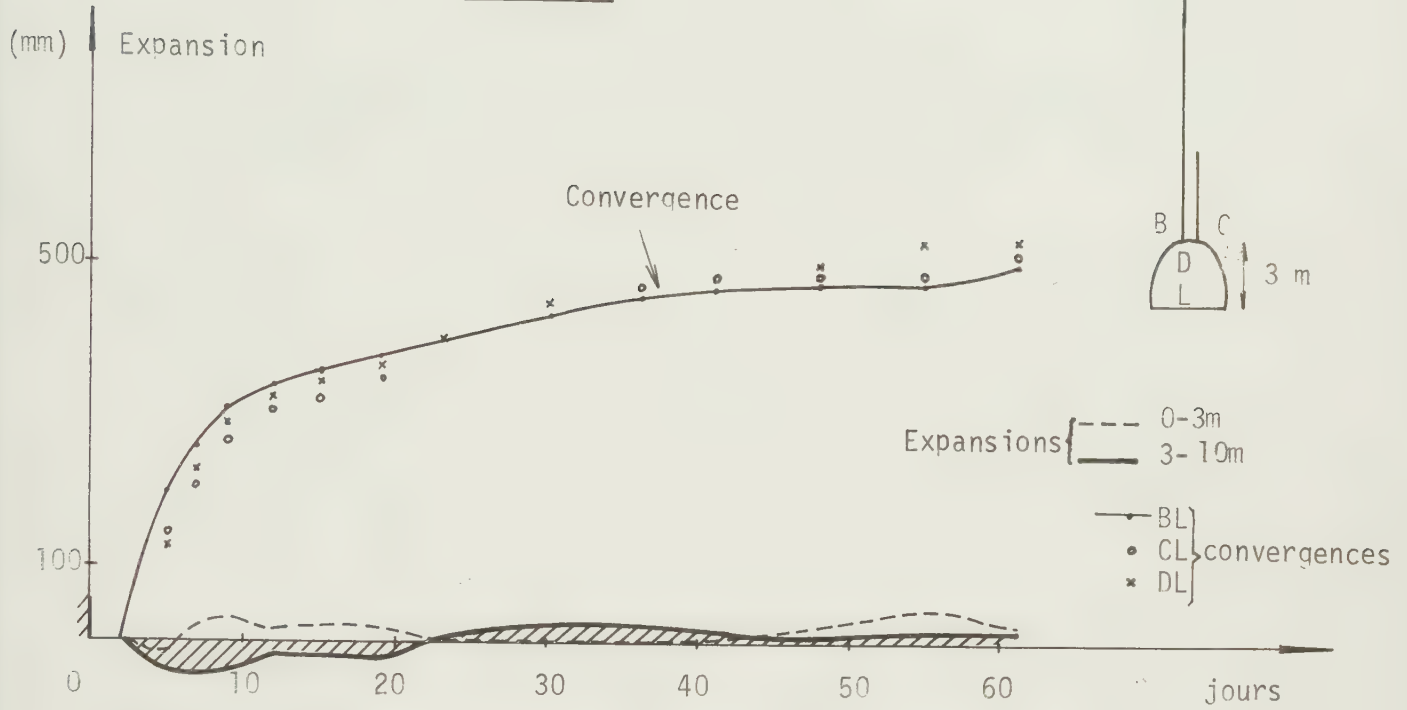
On peut donc, en rapprochant tous ces résultats, se faire une idée de la manière dont s'effectuent les transferts de matière autour de la voie et illustrer le processus de concentration d'une bonne part des convergences vers le mur.

(1) La dégradation de la couronne est parfois telle que se forment, dès le creusement, des vides au-dessus des cintres, qui compliquent l'implantation des dispositifs de mesures.

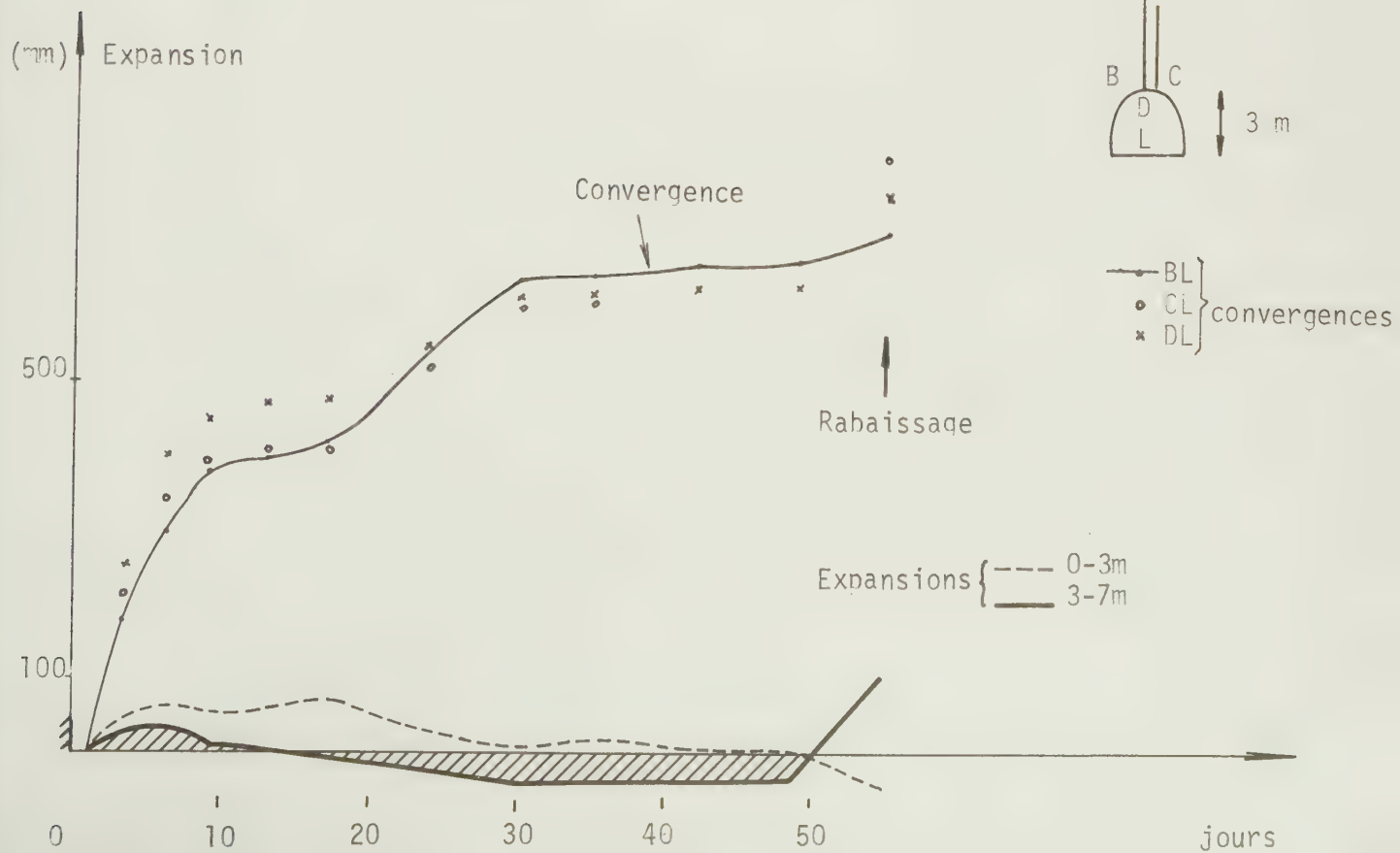
FIG. 43

EXPANSIONS DE LA COURONNE (Panneau L)

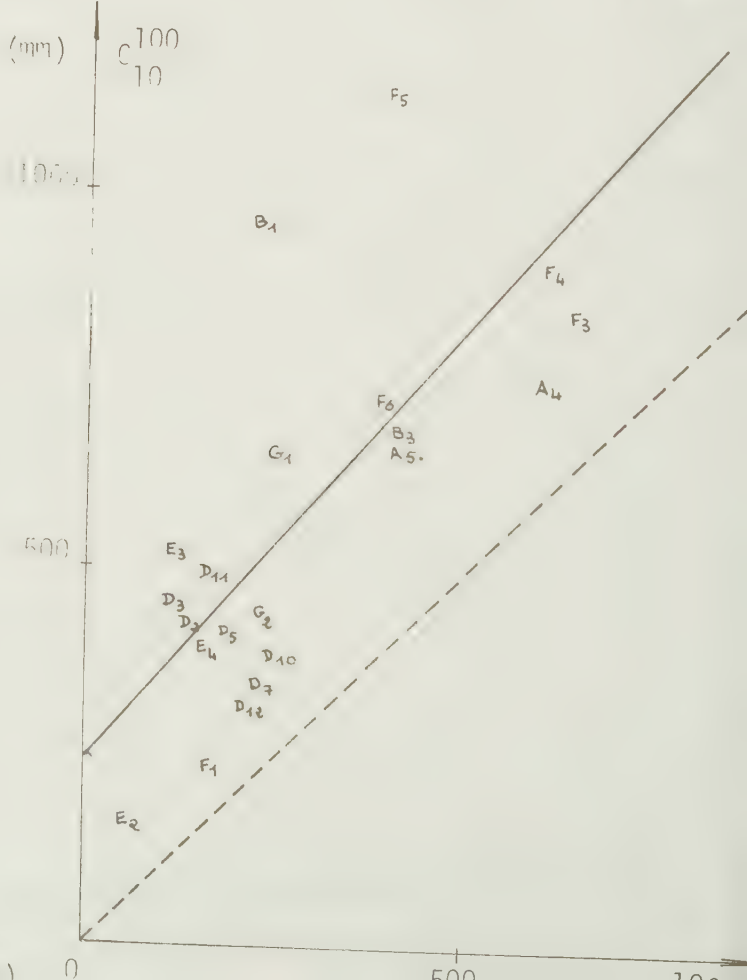
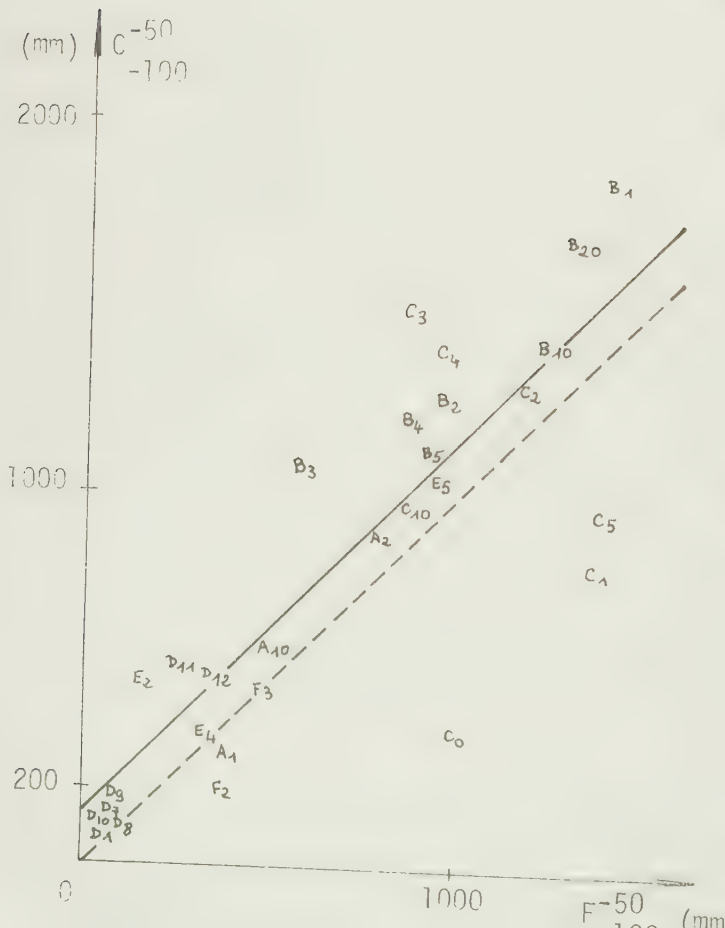
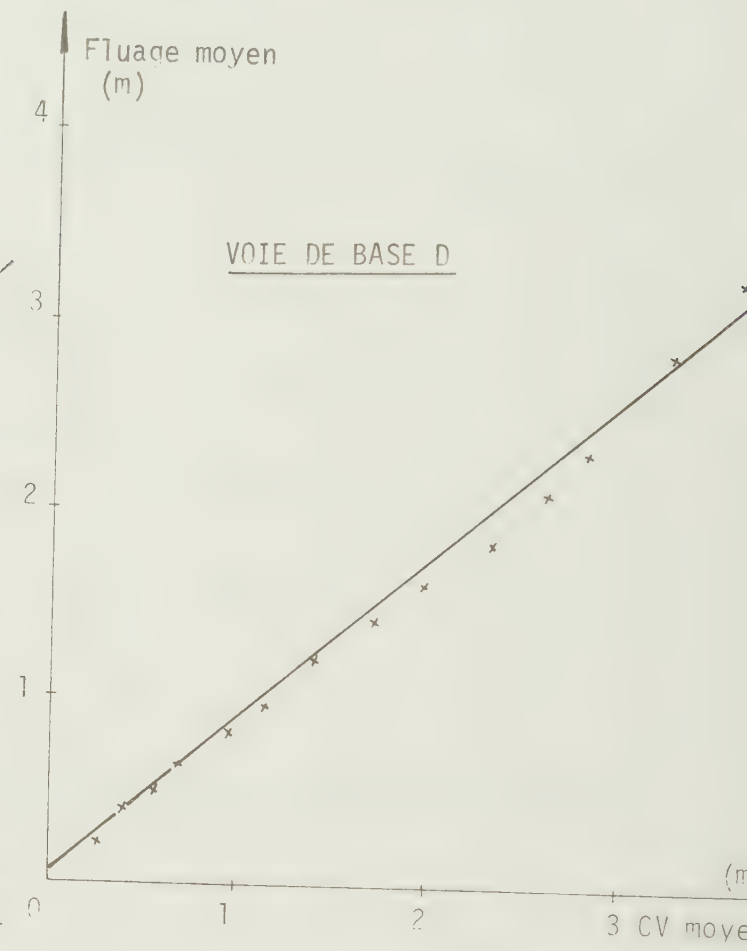
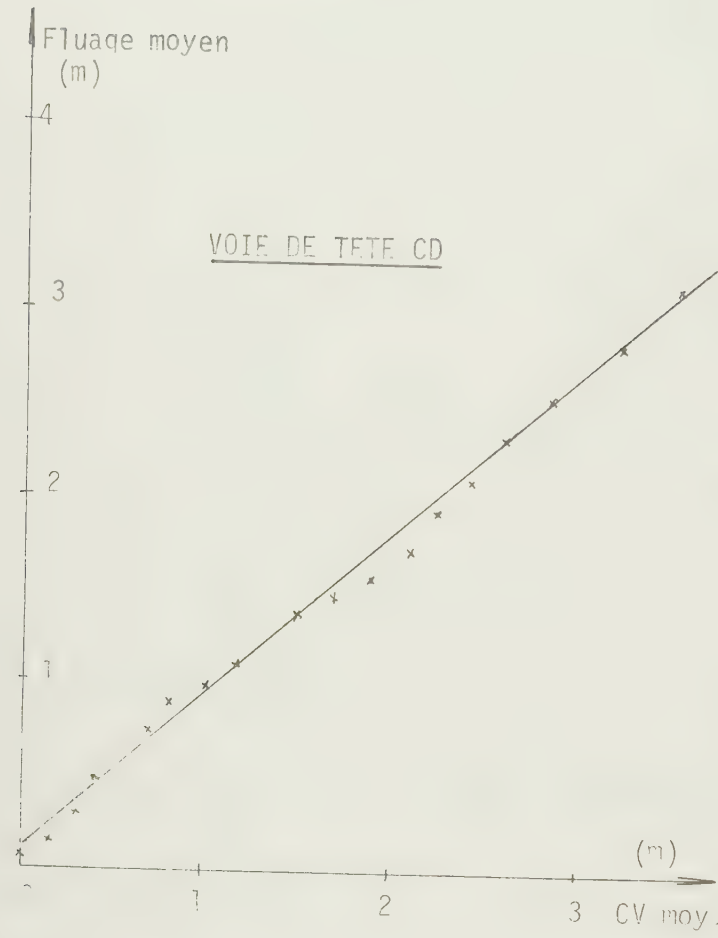
STATION I



STATION II



LIAISONS ENTRE CONVERGENCES ET FLUAGES



L'expansion de la coquille, en effet, lui donne une grande aptitude à trouver un appui assez solide, même dans un massif très fissuré. L'ancrage réparti au contraire nécessite un contact étroit entre le terrain et le boulon et perd toute possibilité d'action quand la déconsolidation est grande (1).

L'essai de soutènement trapézoïdal mis en oeuvre à l'extrémité de la voie de tête CD de Darcy était trop limité (absence de zones alternées, proximité du montage de taille etc...) pour donner un résultat significatif. De toutes façons, il n'a pas paru que ce type de soutènement soit en mesure de réduire les déformations de façon très spectaculaire.

3) Conséquences pratiques

En réalité, il est probable qu'étant donné l'importance des contraintes initiales qu'il doit subir dans les chantiers les plus profonds, aucun soutènement ne pourra vraiment s'opposer à la détente du massif.

Dans cette optique, il faut éviter, par un matériel trop lourd ou trop sophistiqué d'aggraver les conditions de remise à section. L'objectif à atteindre est alors la mise en place d'un soutènement qui ralentisse la dégradation du massif tout en facilitant un entretien inévitable.

Cependant, on peut envisager la question d'une autre manière. En effet, un calcul sommaire d'équilibre limite montre que par exemple dans le cas de Blanzky, la pression sur le soutènement sera amenée à un niveau admissible pour un soutènement du type cadre TH (soit environ 1 bar) après la déconsolidation du charbon sur une distance de 5 à 6 mètres (2).

(1) Le boulonnage à ancrage ponctuel est utilisé avec succès depuis plusieurs années, aux HBNPC, dans des parements de charbon.

Mais, par ailleurs, le maintien d'une section ouverte suffisante ne peut être assuré par les seuls rabaissages à cause de l'importance des fluages. La diminution de la largeur de la voie étant en effet du même ordre que la diminution de sa hauteur, une remise à section totale est nécessaire après trois ou quatre rabaissages.

2) Essais de soutènement

Les essais de renforcement du soutènement ont été le plus souvent décevants.

A Flotard 12 T et 12 B, les parements et la couronne ont été boulonnés à la résine suivant des zones alternées. Dans certaines zones, les boulons étaient reliés entre eux par une vieille chaîne de blindé. En aucun cas, on n'a noté d'amélioration durable du comportement de ces tronçons de galerie (figure 45).

Le boulonnage des parements a eu pour seul résultat positif de réduire durant les premiers mois le fluage par rapport à la convergence (pendant 150 jours, le fluage sans boulons vaut 60 % de la convergence contre 40 % avec boulons et la différence est significative)/30/. Mais, par la suite, les boulons ont parfois engendré des difficultés supplémentaires pour effectuer les remises à section notamment à 12 T. En revanche, dans la voie de base de la taille 3 de Ricard (Cévennes), nous avons déjà relevé (figure 24) l'action bénéfique de ce même boulonnage, équipant le parement amont où il a réduit les expansions de moitié par rapport au parement aval. Il faut cependant souligner que les déformations dans cette voie étaient d'une façon générale beaucoup moins importantes qu'à Flotard.

Aucun essai de boulon à ancrage ponctuel n'a été tenté. On peut se demander si, dans un terrain pulvérulent, ce mode d'ancrage ne serait pas plus efficace que le scellement à la résine.

b) Etude des fluages

Il faut compléter l'étude du rôle du soutènement par l'analyse des fluages. Nous donnons figure 44 un exemple d'alignement caractéristique entre fluages et convergences. Par ailleurs, nous avons établi les liaisons entre convergences et fluages pour les paramètres de creusement mesurés de 10 à 100 jours, de 30 à 200 jours, de 100 à 300 jours ainsi que ceux de passage taille mesurés entre 100 et 50 m et entre 50 m et 15 m devant le front. On trouve toujours une bonne liaison et la pente de la corrélation est voisine de l'unité (sauf pour les derniers paramètres entre 50 m et 15 m, où le fluage l'emporte sur la convergence).

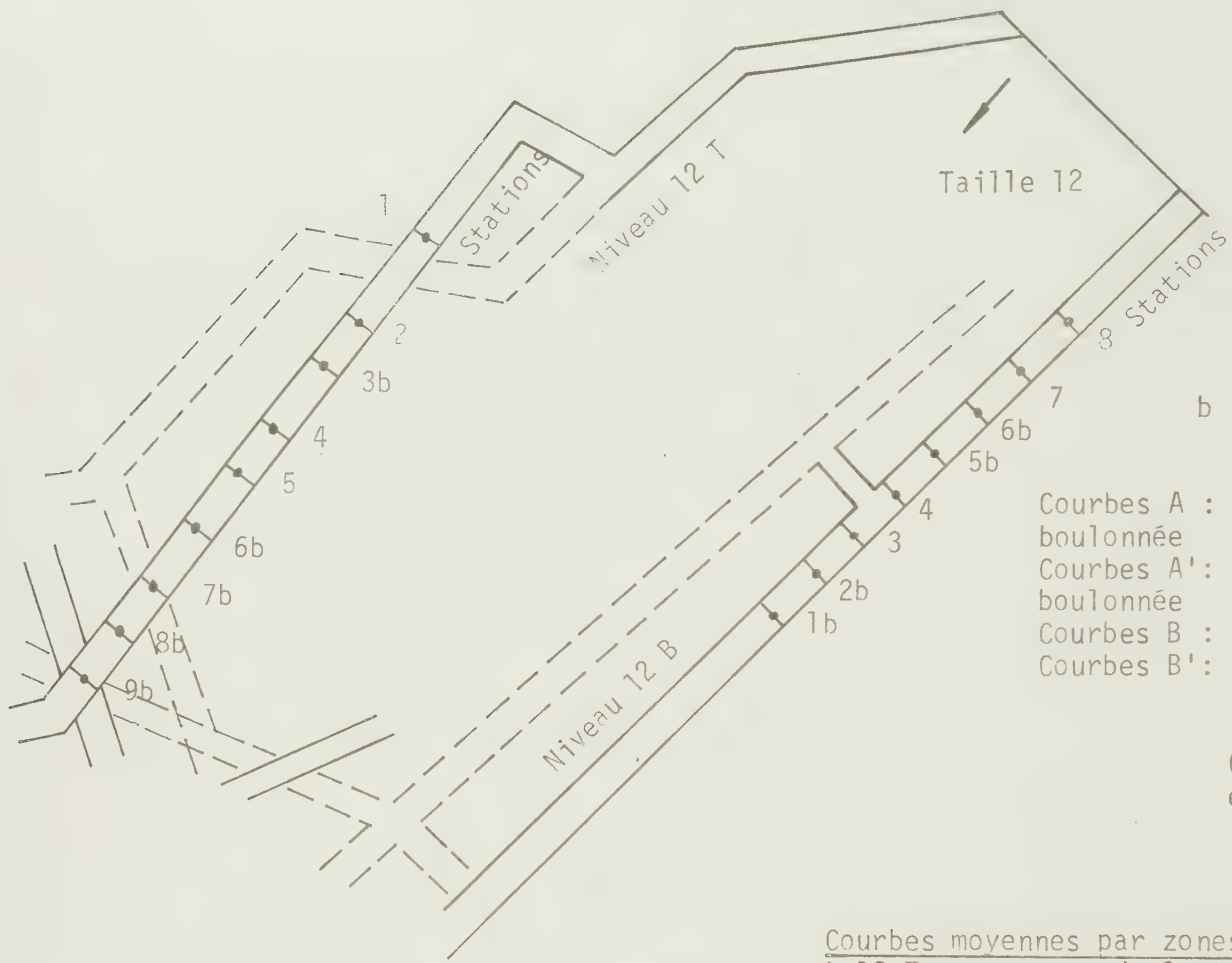
Autrement dit, si les déplacements absolus de la couronne sont réduits par l'écoulement de la matière vers le mur, pour les parements les apports de matière compensent à peu près les pertes. La convergence est ainsi sensiblement égale au fluage et évolue de manière identique.

c) Conséquences pour l'entretien

Il faut souligner que l'action du soutènement ainsi décrit présente un intérêt pratique important.

En effet, l'accumulation vers le mur d'une grande partie des convergences permet de privilégier le "rabaissage" qui est le type d'entretien le plus économique. C'est d'ailleurs la raison qui a fait choisir empiriquement la position de la galerie entre 1 m et 2 m du mur de la couche. Nous avons précédemment apprécié cette position comme étant voisine de l'optimum car en même temps qu'elle permet "la détente par le mur", décrite ci-dessus, elle n'entrave pas ultérieurement le soutirage et n'est pas un facteur d'augmentation des déformations.

INFLUENCE DU BOULONNAGE SUR LE COMPORTEMENT
DE TRONCONS DE GALERIE (FLOTARD - 420, LOIRE)



b : station
boulonnée

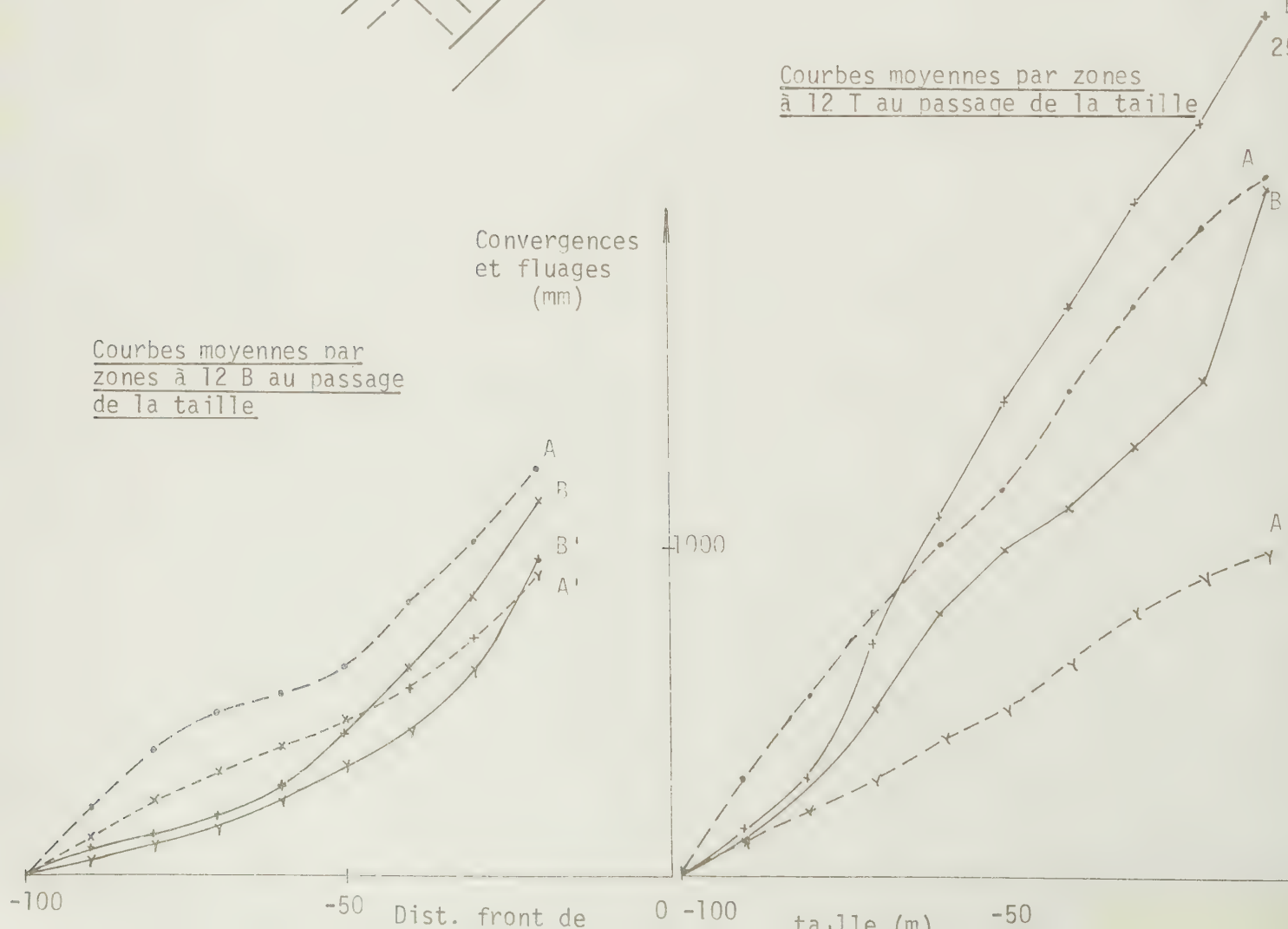
Courbes A : CV zone non-
boulonnée
Courbes A' : FI zone non-
boulonnée
Courbes B : CV zone bou
Courbes B' : FI zone bou

Convergences
et fluages
(mm)

Courbes moyennes par zones
à 12 T au passage de la taille

Convergences
et fluages
(mm)

Courbes moyennes par
zones à 12 B au passage
de la taille



Ce résultat doit être atteint selon nos prévisions, 150 à 200 jours après le creusement, c'est-à-dire, vu l'évolution des convergences durant cette période, après l'évacuation par l'entretien de 6 à 8 m³ de charbon.

Dans ces conditions, après cet entretien minimum, il peut être possible de mettre en place un type de renforcement ou de soutènement capable de limiter efficacement les mouvements ultérieurs. L'injection de résines synthétiques pourrait trouver là un champ d'application intéressant.

On voit ainsi que la question du soutènement et celle de l'entretien sont étroitement imbriquées.

(2) Le calcul de l'équilibre limite entre les terrains élastiques et la zone pulvérulente fournit les résultats suivants : dans le matériau pulvérulent, on admet par définition la relation /31/, /32/.

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_r} = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = j$$

(ϕ étant l'angle de frottement interne

σ_r et σ_t les contraintes radiales et tangentielles)

L'équilibre d'un petit élément dr à la distance r du centre de la galerie s'écrit :

$$(\sigma_t - \sigma_r)dr = r d\sigma_r \quad \text{soit} \quad \frac{d\sigma_r}{\sigma_r} = (j - 1) \frac{dr}{r}$$

Si p est la pression (radiale) sur le soutènement et a le rayon de la galerie, les équations deviennent :

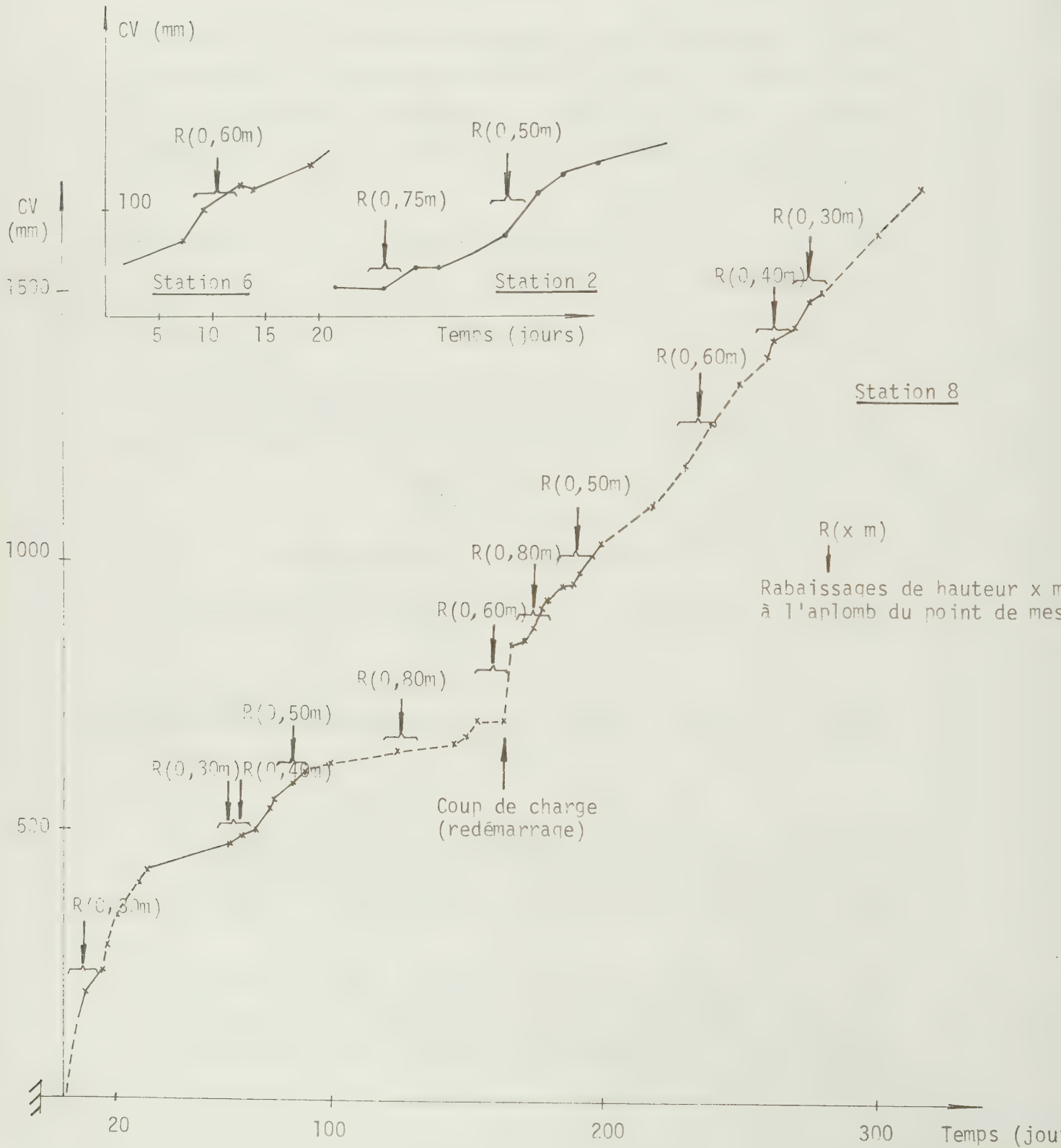
$$\sigma_r = p \left(\frac{r}{a}\right)^{j-1} \quad \sigma_t = p \cdot j \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{j-1}$$

En écrivant qu'à la limite entre les zones pulvérulentes et élastiques, la contrainte σ_r est égale à la contrainte naturelle initiale du massif (soit 200 bars à 1000 m de profondeur), on trouve que le rayon R de la zone pulvérulente est à l'équilibre $R = a \times \frac{(200)}{p}$

Pour un charbon pulvérulent, les différents auteurs donnent à des valeurs comprises entre 37° et 47° soit pour j , $4,1 < j < 6,4$. On peut ainsi montrer qu'à une profondeur pulvérulente $(R-a)$ de l'ordre de 5 à 6 m, correspond une pression sur le soutènement d'environ 1 bar.

FIG. 46

EXEMPLES DE L'INFLUENCE DES TRAVAUX D'ENTRETIEN
SUR L'EVOLUTION DES MOUVEMENTS DE CONVERGENCE
(Flotard 12B)



4) Influence de l'entretien

Les courbes de déformations par stations, sont marquées par des irrégularités, ressauts et paliers qu'on peut souvent mettre en relation avec de gros entretiens (rabaissages ou remises à section complètes) : figure 46 .

En réalité, ces impulsions ne sont jamais de grande durée (une dizaine de jours au plus) et leur amplitude ne dépasse guère 100 mm. D'autre part, tous les entretiens importants ne provoquent pas systématiquement de tels effets de réactivation temporaire des mouvements.

L'étude précise de l'influence des travaux d'entretien est très difficile à mener dans ces chantiers où les rabaissages intéressent pratiquement en permanence un ou plusieurs tronçons de galeries simultanément. Il faudrait à la fois connaître la distance à partir de laquelle les travaux d'entretien sont influents et savoir comment leurs répercussions évoluent dans le temps pour pouvoir les dissocier d'autres phénomènes.

Or, la seule manifestation mesurable de leur influence est constituée par les impulsions que nous avons signalées sur les courbes de convergence. Elles s'expliquent par le fait qu'à chaque entretien, la convergence a atteint l'ordre de grandeur du mètre, c'est-à-dire que la section de la galerie est réduite de près de moitié (40 %). Le tassement du matériau autour de la voie permet un freinage des mouvements pendant que la diminution du rayon permet d'atteindre un état d'équilibre plus rapidement (voir calcul en annexe du paragraphe précédent). L'entretien au contraire, en ramenant la galerie à sa dimension initiale, crée des conditions d'une reprise de l'expansion.

Il ne nous est pas possible d'aller plus loin dans la connaissance du mécanisme mis en oeuvre au cours des travaux d'entretien qui

au demeurant fait partie intégrante de l'ensemble du mécanisme de déformation des galeries décrit jusqu'à présent.

En fait, l'entretien est le remède direct aux effets des pressions de terrains et son emploi est toujours fait dans les conditions qui le rendent indispensable. Réciproquement, son incidence sur les déformations est elle inévitable et, en outre, ne peut guère accroître sensiblement la charge économique considérable qu'il représente.

5) Conclusion générale

Les soutènements divers mis en place dans les galeries de couches puissantes peuvent difficilement au début, prétendre s'opposer aux déformations quand celles-ci sont très fortes. Ils contribuent essentiellement durant toute une première période, à détourner vers la sole une grande partie des convergences, ce qui facilite l'entretien. Cependant, lorsque la détente du massif a atteint une ampleur suffisante (c'est-à-dire après la formation d'une gaine pulvérulente de plusieurs mètres de diamètre autour de la voie et l'évacuation par l'entretien d'une dizaine de mètres cubes de charbon par mètre de galerie) les contraintes sur le soutènement deviennent admissibles et les conditions favorables à des essais de consolidation et de renforcement sont créées.

IV - INFLUENCE DES FACTEURS NATURELS

Outre la puissance de la couche, dont nous avons montré l'influence sur les déformations, un certain nombre d'autres facteurs naturels sont susceptibles de modifier le comportement des voies. Ils ont malheureusement rarement pu être étudiés de façon systématique, soit qu'ils aient trop faiblement varié d'un lieu d'expérience à l'autre, soit que leurs variations n'aient pas pu être mesurées. Nous avons pu recueillir quelques éléments uniquement en ce qui concerne la profondeur et la tectonique.

1) La profondeur

Nous avons déjà signalé que la profondeur est restée comprise entre 800 et 900 m pour l'ensemble des exploitations soutirées que nous avons étudiées. En Aquitaine, nous avons effectué des mesures dans des chantiers situés à 200 ou 300 m de profondeur, mais il s'agissait d'exploitations par tranches descendantes, utilisant des procédés de creusement et de dépilage difficilement comparables avec ceux du soutirage (1).

Il n'en reste pas moins que l'amplitude des déformations observées dans ces chantiers était bien inférieure à celle que nous avons enregistrées dans les voies soutirées (de l'ordre de 100 mm dans le premier cas, contre 250 à 500 mm dans l'autre, pendant le premier mois après le creusement).

Nous pensons qu'une telle différence d'amplitude est à relier, entre autres, aux différences de contraintes initiales régnant dans le massif au début du creusement (pendant la phase élastique) c'est-à-dire en fin de compte à la profondeur. Cette question rejoint alors le problème soulevé à propos de l'influence des conditions sus-jacentes. Mais nous ne sommes pas en mesure devant

(1) Ainsi le traçage très rapide (vitesse d'avancement de l'ordre de 20 m/j) réalisé à l'aide d'une machine de creusement Alpine et le dépilage très rapide également ont pour conséquence importante de réduire considérablement la durée de vie des voies.

la multiplicité des facteurs qui ont varié et le faible nombre d'observations recueillies, de préciser davantage cette influence, ni même de savoir si elle est ou non déterminante pour une couche soutirée. On peut simplement assurer que l'ampleur des mouvements en voie varie dans le même sens que la profondeur du chantier, toute chose égale par ailleurs.

2) La tectonique

La présence de failles apporte très souvent des perturbations dans le comportement d'une galerie.

Nous avons constaté dans les voies I_{2-7} et I_{2-9} d'Aquitaine, une augmentation sensible des déformations pour les stations de mesure voisines des failles (voir figure 37).

A Darcy, les couches sont souvent traversées de petites failles limitées. Elles n'ont jamais montré d'influence nette sur les stations voisines.

Un accident plus important a affecté la voie de tête du panneau T au niveau de la station 2. En fait, la couche avait même totalement disparu et la station 2, au milieu de roches plus résistantes, a en fin de compte enregistré des déformations inférieures à celles des autres points de mesure.

On peut résumer ces influences contradictoires :

- si la nature des terrains autour de la voie n'est pas sensiblement modifiée (notamment si on reste dans le charbon) les failles pourront provoquer des difficultés, plus ou moins sérieuses suivant l'importance du dérangement et sans doute aussi sa position par rapport à la voie.

- si au contraire, une zone est suffisamment tectonisée pour que la galerie s'écarte temporairement de la couche et traverse des bancs de roches plus dures, son comportement sera susceptible d'être amélioré par rapport au reste du chantier.

V - CONCLUSION ET CONSEQUENCES

1) Synthèse des résultats

L'étude de l'ensemble des chantiers nous a permis de faire ressortir l'influence d'un certain nombre d'éléments actifs sur le comportement.

Nous avons évoqué le rôle des facteurs naturels

- puissance de la couche
- profondeur
- caractéristiques mécaniques des terrains
- conditions tectoniques.

Nous avons examiné également les conséquences des choix d'exploitation concernant la position des galeries.

- position de la voie dans la couche
- position par rapport aux anciennes exploitations de la même couche
- position par rapport aux anciennes exploitations sus-jacentes.

Enfin, nous avons abordé la question pratique de maintien d'une ouverture de galerie suffisante, ce qui nous a conduit aux problèmes :

- de soutènement
- de l'entretien.

Sans revenir sur le détail des résultats, nous avons noté que seuls quelques facteurs avaient une influence comparable, à celle qu'on leur connaissait en couches minces : c'est le cas des conditions sus-jacentes et de la profondeur.

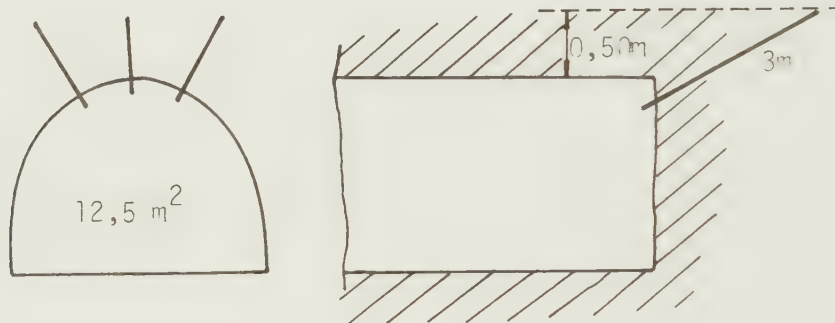
Tous les autres facteurs jouent sur le mécanisme un rôle original, souvent même largement prépondérant sur celui des deux premiers cités.

FIG. 47

ESSAI DE CONSOLIDATION DU MASSIF PAR INJECTION

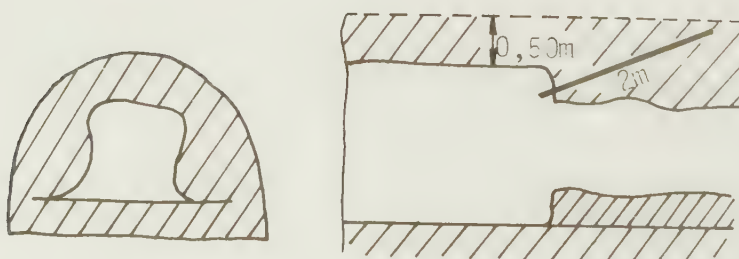
- Au traçage -

L'essai a porté sur 18.000 litres injectés à raison de 35 l/m creusé



- Au recarrade -

12.000 l injectés à raison de 40 à 50 l par mètre remis à section



En fin de compte, on peut résumer les résultats en écrivant que le comportement est gouverné par la nature des terrains contenus dans une gaine d'une dizaine de mètres de diamètre autour de la voie. La nature des terrains doit être comprise au sens de leurs caractéristiques mécaniques et aussi de leur état de déconsolidation initial.

Des terrains fragiles et pulvérulents constituent un facteur d'augmentation des déformations et inversement des terrains résistants assurent une réduction des mouvements.

2) Conséquences pratiques et essais

Dans ces conditions, il est naturel que les solutions envisagées pour améliorer la tenue des voies portent sur les moyens de transformer leur environnement. Devant les résultats médiocres obtenus par les essais de renforcement du soutènement, deux idées se sont imposées :

- changer directement les caractéristiques mécaniques du charbon à l'aide de procédés d'injection
- doubler les galeries au charbon par une infrastructure d'accompagnement dans les roches résistantes sous la couche.

a) Le point sur les essais d'injection de résines synthétiques

Pour les couches puissantes, les essais ont été réalisés dans la Loire selon les modalités indiquées sur la figure 47. Ils ont été effectués soit lors du creusement, soit plus tard au moment de l'entretien.

Les résultats sont encourageants :

Ainsi, sur les deux traçages traités, on signale un gain d'avancement journalier, un gain de rendement de 25 %, un gain en prix de revient de 21 %.

De même, les injections de la galerie avant la remise à section (recarrage) ont, de l'avis général, amélioré le rendement en diminuant l'empoussiérage.

La consolidation des terrains par injection se heurte encore à des difficultés techniques sérieuses (problèmes de sécurité dans la mise en oeuvre des produits, coûts des produits etc...) D'autre part, les essais sont encore limités et il serait souhaitable de pouvoir mener une étude comparative avec un plan d'expérimentation prévoyant des mesures de convergences dans des zones alternées.

Néanmoins, ce procédé ouvre des perspectives nouvelles assez prometteuses semble-t-il, pour la tenue des chantiers en couche puissante, qu'il s'agisse des voies ou des tailles.

b) Constitution d'une infrastructure au rocher

Cette dernière solution est appliquée actuellement à Blanzky. Son principe consiste à tracer une galerie au rocher parallèle à la direction de la voie de taille. Des recoupes permettent l'accès en couches à intervalles réguliers. Grâce à ce procédé, la voie au charbon n'est creusée qu'un minimum de temps avant le passage de la taille, ce qui réduit l'entretien nécessaire pour la maintenir ouverte.

Du point de vue économique, il serait intéressant de pouvoir ajuster au mieux l'intervalle entre les recoupes de façon à optimiser les coûts. Cependant, un tel calcul nécessiterait, pour être précis, une prévision des déformations à attendre bien meilleure que celle que nous pouvons fournir actuellement.

PLAN DU CHAPITRE VI

MECANISME DE DEFORMATION DANS LES TAILLES A SOUTIRAGE

I - PRESENTATION DES CAMPAGNES DE MESURE ET DES RESULTATS

- 1) Présentation des chantiers
- 2) Les campagnes de mesures
- 3) Les premiers résultats

II - FRONT DE SOUTIRAGE ET FRONT DE DEPILAGE

- 1) Définition et description des deux fronts
- 2) Influence de la progression des deux fronts

III - COMPORTEMENT DU CHARBON AUTOUR DE LA TAILLE

- 1) La décohé sion de la couronne
- 2) Les mesures d'expansion en couronne
- 3) Les expansions horizontales
- 4) Conséquences

IV - DEPLACEMENTS D'ENSEMBLE AUTOUR DE LA TAILLE

- 1) Déplacement horizontal
- 2) Basculement de la couronne
- 3) Conclusion mécanisme du déplacement horizontal

V - MOUVEMENTS DES EPONTES

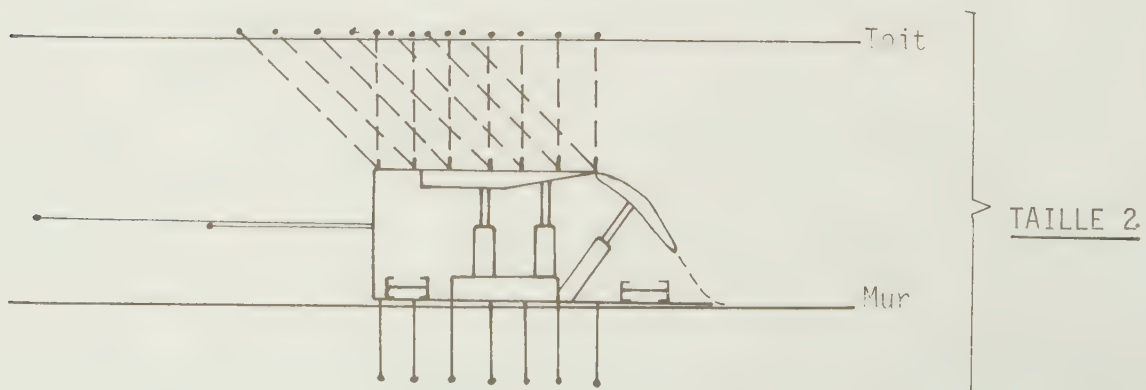
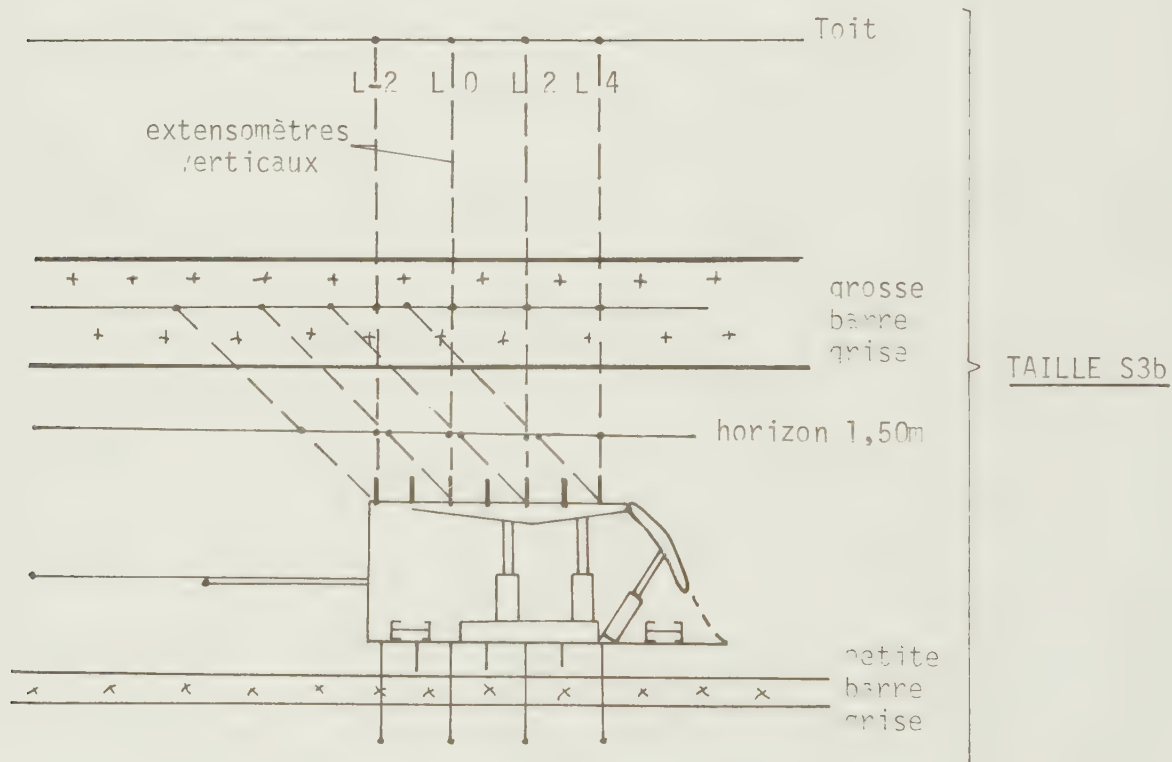
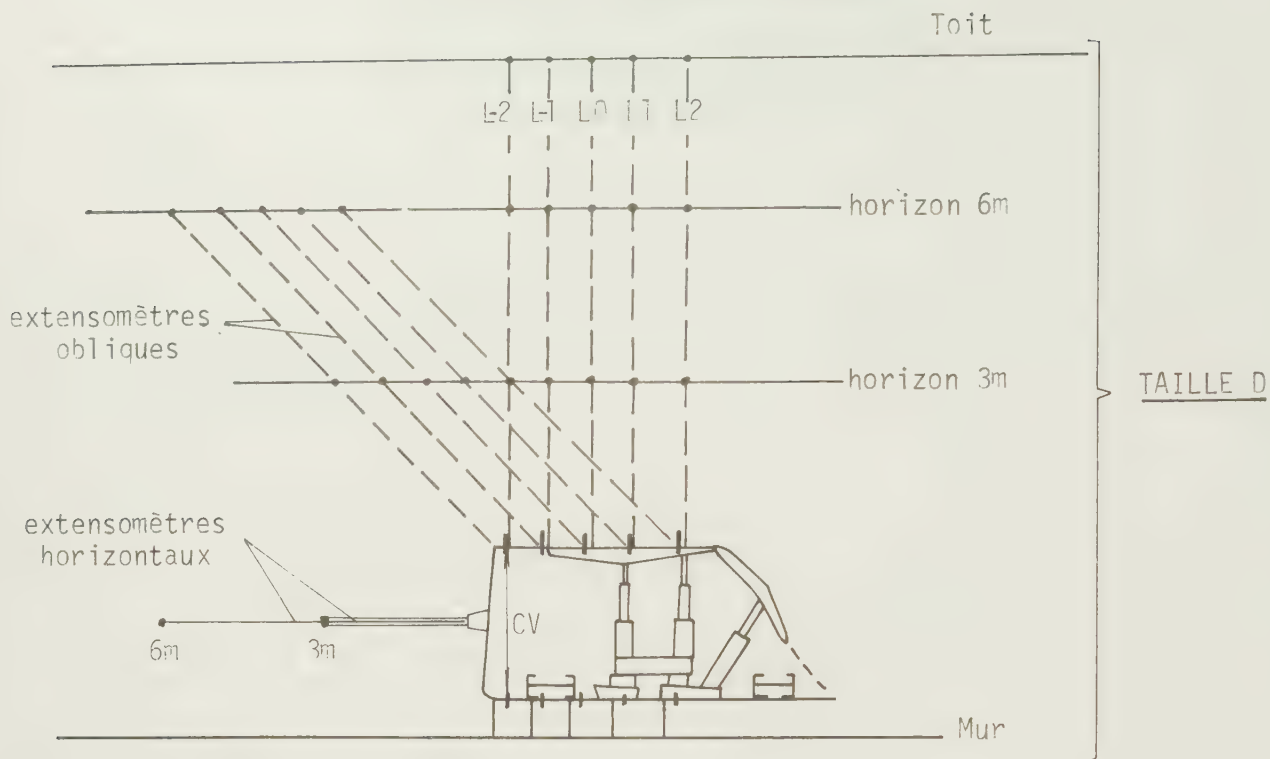
VI - CONCLUSION

DEFORMATIONS AUTOUR D'UNE LONGUE
TAILLE DANS UNE COUCHE PUISSANTE
EXPLOITEE PAR SOUTIRAGE

	Darcy Taille D	Roselay taille S3B	Ricard couche 1
<u>Caractéristiques naturelles</u>			
profondeur	797 m	310 m	840 m
Puissance couche	12,3 m	12 m	4,50 m
Pendage	8°	11°	12°
Nature du toit		schistes	schistes gréseux
Nature du mur		schiste charbonneux	schistes
Composition veine		2 bancs 0,88 et 2,17m	2 bancs de 0,15
<u>Caractéristiques d'exploitation</u>			
Longueur de taille	90 m	109 m	175 m
Ouverture à front	2,80 m	2,40 m	2,35 m
Pendage parallèle à front	7°	6°	11° à 12°
Pendage perpendiculaire front	2°	9° descend.	2° montant
Abattage nature	piqueur	haveuse DTS 300	piqueur
Pas d'avancement	1,10 m	0,56 m	0,72 m
Soutènement nature	Westphalia K2.68	SMF	Unis fond
Charge de pose	240 bars 100T/M	280 bars	280 bars (240)=7
Charge de coulisement	480 bars 200 T/M	375 bars 186 T/M	600 b = 181T/M
DNS mini	32 cm	65 cm	24 cm
DNS maxi	142 cm	119 cm	96 cm
Vitesse avancement	0,80 m/j ouvré	1,18 m/j ouvré	0,72 m/j ouvré
Durée du cycle	30 H	11 H	24 H
Soutirage taux récupération	80 % environ	70 à 80 % sur les 9,85 m de charbon	80 %
Contrainte de contact au toit	8 bars	9 bars	7,4 bars
au mur	23 bars	14 bars	15 bars
Retard boisage moyen	8 heures	3 heures 24 mm/mm	8 heures 15 mm/m
Largeur soutenue taille	4,53	4,10	4,40
Campagne de mesure	8/9 au 15/10 1971	15/5 au 9/6 1972	4/9 au 7/10 1972

FIG. 48

COUPE DES STATIONS DE MESURE



MECANISME DE DEFORMATION DANS LES TAILLES A SOUTIRAGE

I - PRESENTATION DES CAMPAGNES DE MESURE ET DES RESULTATS

1) Présentation des chantiers

Trois campagnes de mesures ont été menées dans le bassin du Centre Midi aux Houillères de Blanz y (taille D du siège Darcy et taille S_{3B} du siège Rozelay) et aux Houillères des Cévennes (taille 2 du siège Ricard).

Nous avons résumé dans le tableau ci-contre les caractéristiques des trois tailles. Il s'agissait de longues tailles en plateures, équipées de soutènements marchants et employant la même technique de soutirage à quelques variantes près. En particulier, la taille S_{3b} était havée.

Cependant, les conditions naturelles étaient sensiblement différentes : la profondeur était de 800 à 900 m pour deux des tailles, de 300 m pour la troisième. La puissance était également variable : si la planche de charbon soutirée avait une épaisseur comparable à Darcy et à Rozelay (9 à 10 m), elle était beaucoup plus mince à Ricard (2 m). De plus, il faut attirer l'attention sur la présence à Rozelay d'une barre stérile de 2 m environ dans la couche.

2) Les campagnes de mesures

Les méthodes de mesures étaient analogues et les schémas des chantiers sont rassemblés sur la figure 48. Comme nous l'avons vu précédemment, leur principe est voisin de celui qui est couramment appliqué en couches minces.

Chaque doublet de convergence est posé le plus près possible du front et il est suivi heure par heure jusqu'à sa disparition dans le soutirage. La convergence finale qu'il a enregistrée pendant toute cette période est appelée convergence totale de la taille.

Par ailleurs, toujours en conformité avec les procédés usuels en couches minces, les mesures sont relevées également avant et après chaque phase importante des travaux (soutirage, ripage, abattage du charbon....) dont on note la durée. On peut ainsi étudier la convergence pendant un cycle (un cycle de taille comprenant nécessairement un ripage, une phase d'attente, une phase d'abattage et une phase de soutirage). On décompose alors les mouvements en fonction des travaux qui sont effectués dans le voisinage. Bien que certaines phases puissent coexister au même instant (comme le soutirage et l'abattage), on déterminera une convergence de ripage, de soutirage etc... pour chaque allée (ou ligne), c'est-à-dire pour chaque position du doublet.

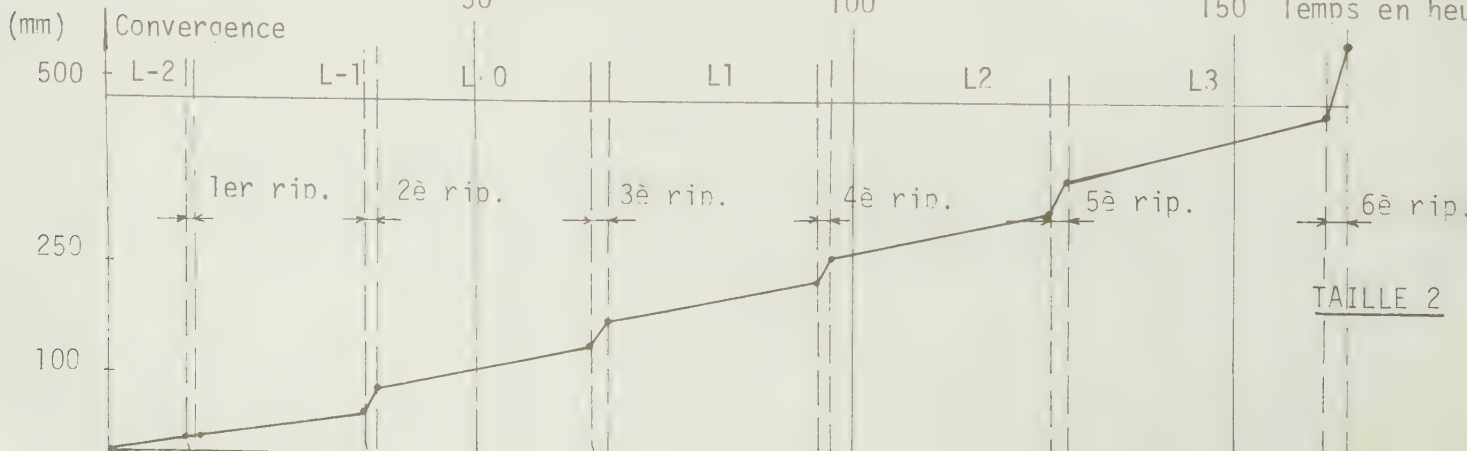
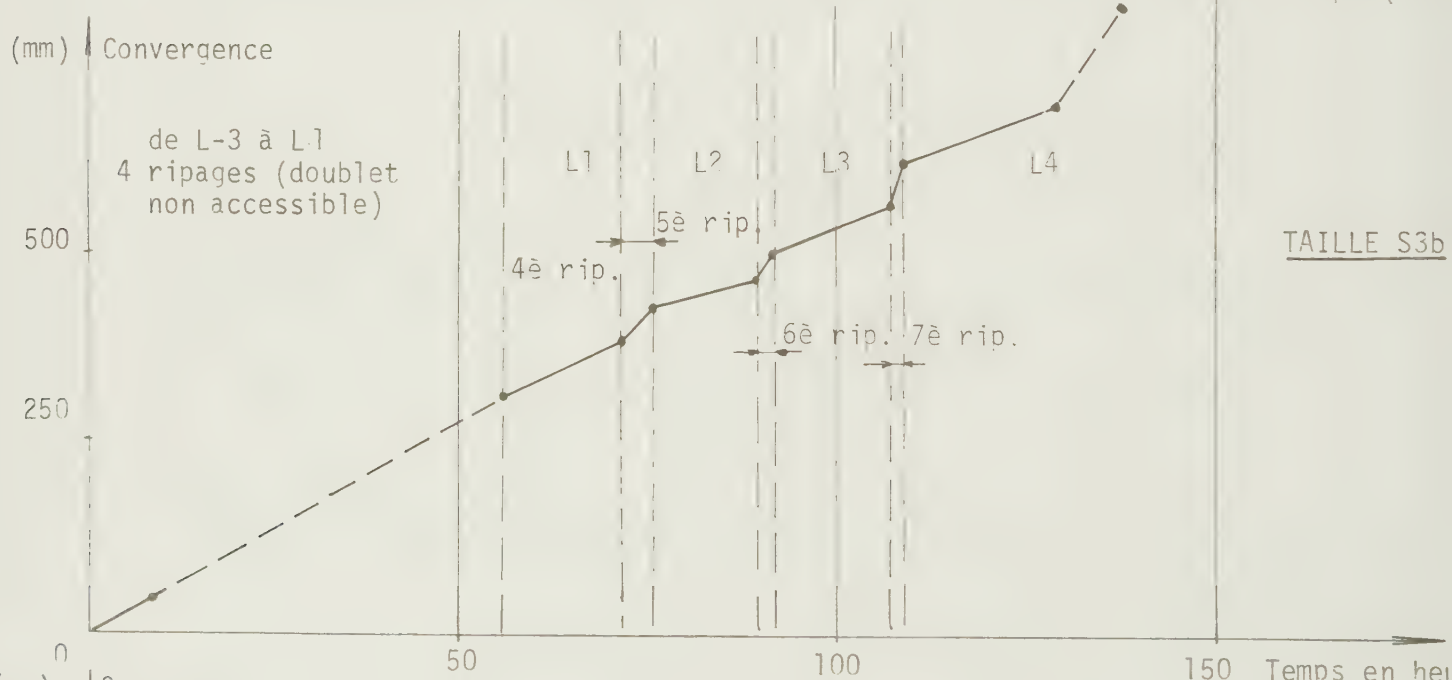
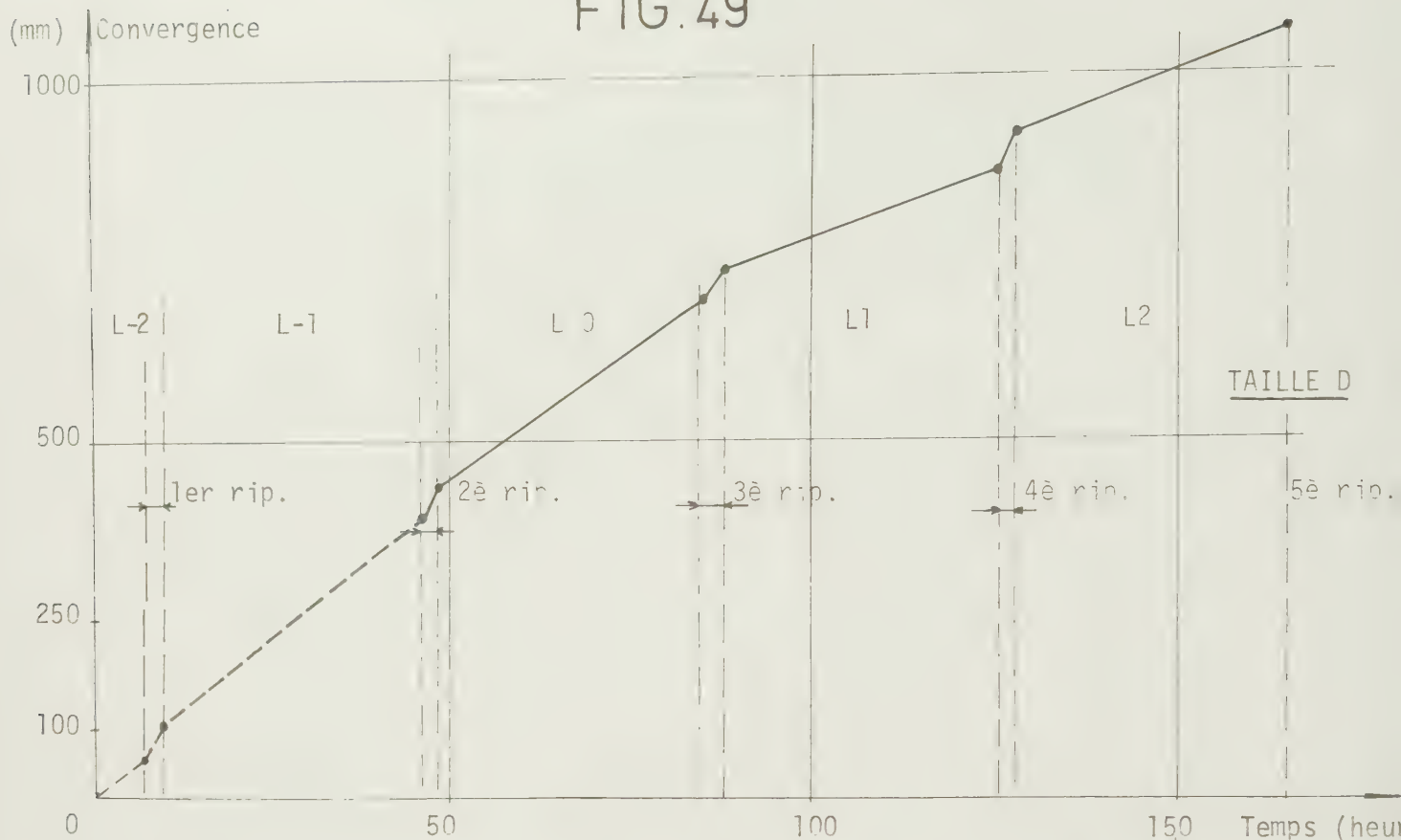
Enfin, les broches de convergence en couronne servent de repère pour la mesure du déplacement horizontal.

Les expansions sont mesurées dans diverses directions afin de bien cerner le comportement de la masse de charbon qui entoure la taille :

- verticalement à différents niveaux dans la couronne et jusqu'au vrai toit (1)
- obliquement, dans une direction inclinée à 45° vers l'intérieur du massif et aux mêmes horizons que les ancrages des expansions verticales.
- dans le mur, entre la sole et un point d'ancrage situé à 1 ou 2 m de profondeur.

(1) L'expression "vrai toit" désigne le toit de la couche par opposition au toit de la taille qui est constitué par le bas de la planche de charbon en couronne.

FIG.49



Sur le soutènement, on a relevé les pressions à la pose et au ripage, ainsi que les coulissemements des vérins et leur inclinaison par rapport à la verticale.

3) Les premiers résultats

Au niveau des résultats, la première remarque qui s'impose concerne les amplitudes exceptionnelles de toutes les déformations observées, sans rapport avec celles qu'on mesure habituellement en couches minces.

L'évolution moyenne des convergences, de la pose des doublets à leur destruction est représentée figure 49. On note une croissance assez régulière avec le temps marquée cependant par des accélérations très nettes au moment du ripage des piles. D'autre part, on constate en taille D un amortissement progressif, qu'on ne retrouve pas dans les autres chantiers. Il est intéressant de noter que ce phénomène se produit dans le cas extrême, celui où la puissance de la planche de charbon en couronne est la plus grande. On peut déjà prévoir que son comportement, notamment sous l'action du soutènement se distinguera des autres.

Au total, on retiendra les valeurs suivantes :

	Taille D	Taille S _{3b}	Taille 2
Convergence totale moyenne	1059 mm	660 mm	587 mm
Vitesse de Cv moyenne	233 mm/m	160 mm/m	131 mm/m

La vitesse de convergence (en millimètres par mètre d'avancement) est calculée à partir des mesures prises au niveau des premières allées sous les chapeaux (ligne 0, ligne 1, ligne 2) pour permettre la comparaison avec les campagnes des couches minces.

On remarque également, par rapport à ces campagnes en couches minces, un phénomène singulier : c'est l'existence de déplacements horizontaux considérables de la couronne de charbon. Leur amplitude atteint plus de la moitié de celle de la convergence :

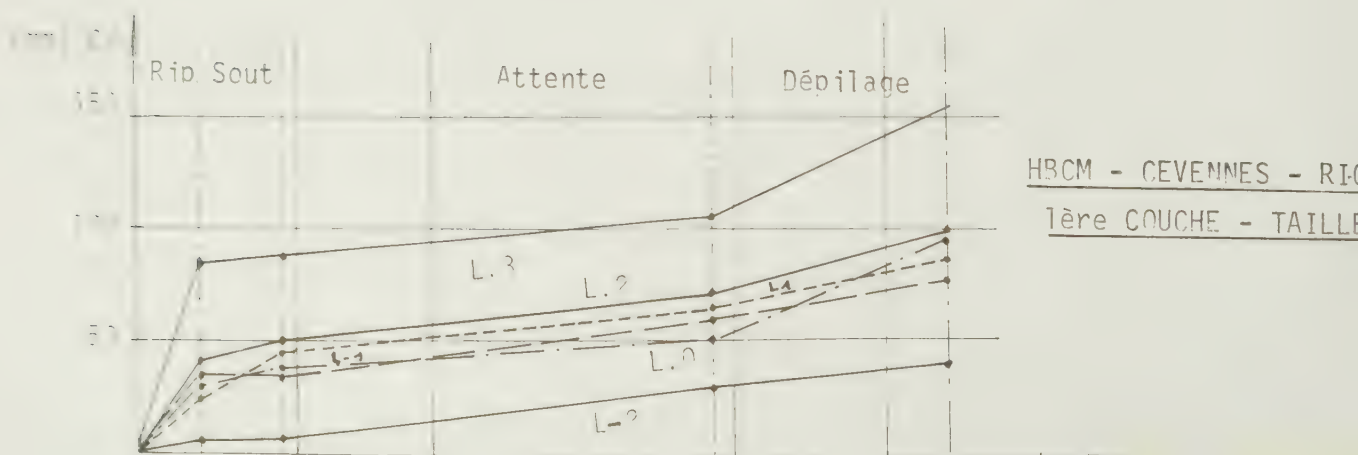
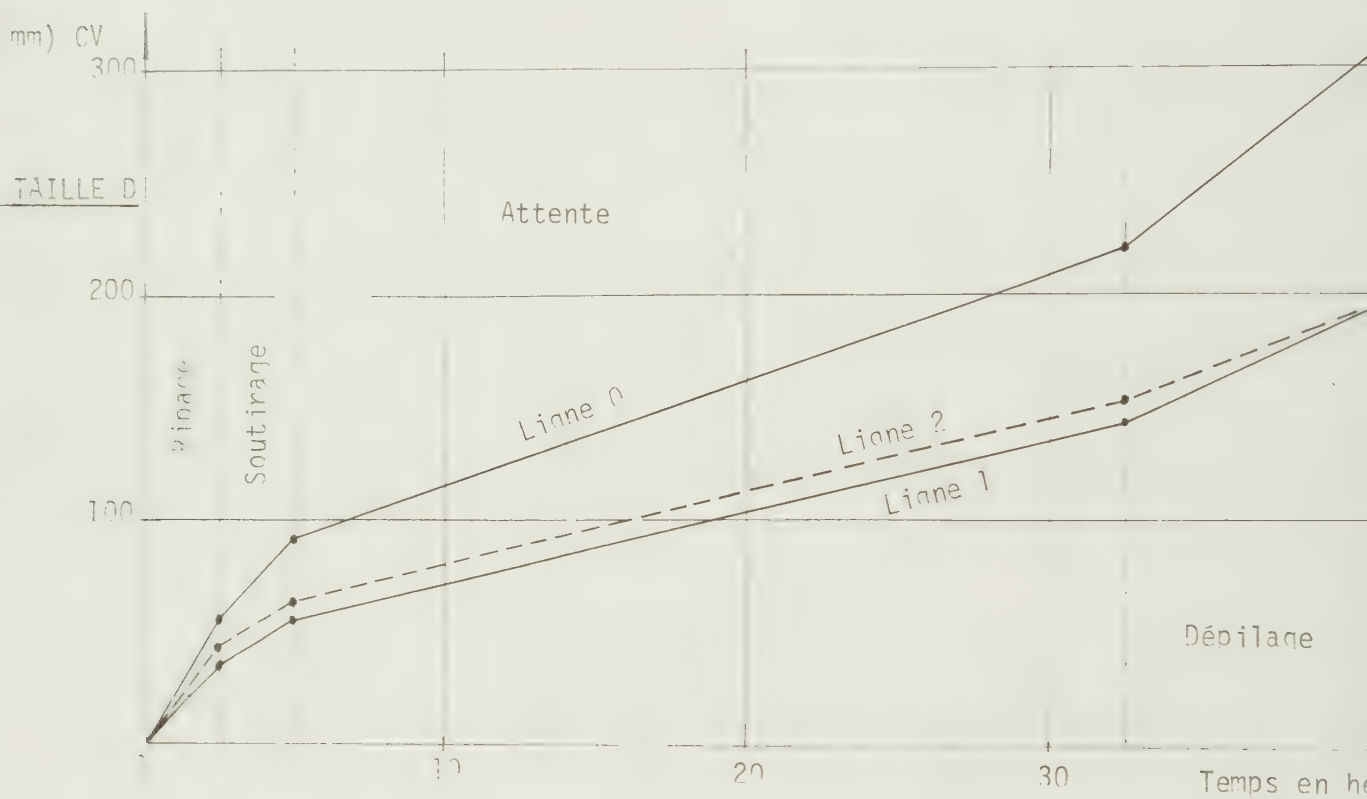
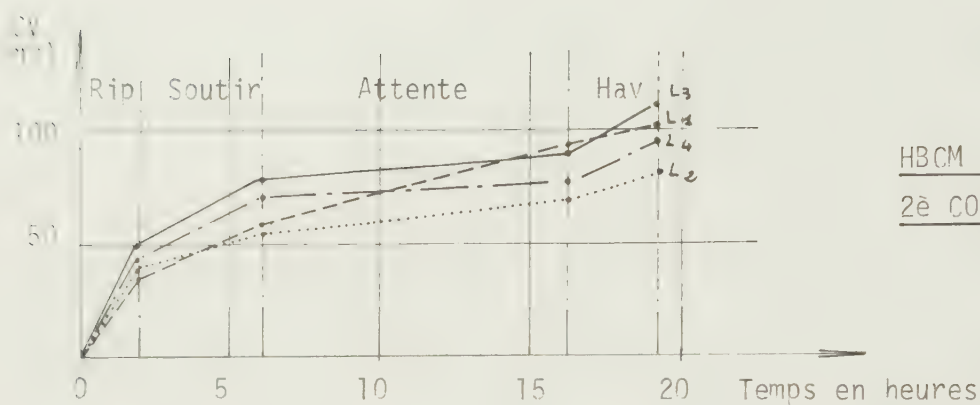
	Taille D	Taille S _{3b}	Taille 2
Déplacement perpendiculaire au front	552 mm	280 mm	NON MESURE
Déplacement parallèle au front	118 mm	178 mm	
Déplacement total linéaire (résultant)	565 mm	330 mm	

Nous allons être amenés à étudier avec précision le comportement de cette masse de charbon qui entoure la taille, notamment à l'aide des mesures d'expansions.

Auparavant, nous allons faire une analyse plus fine des premiers résultats, en rattachant le mécanisme de déformation, aux différentes phases d'activité autour de la zone de mesures et plus particulièrement aux travaux de soutirage et d'abattage.

CONVERGENCE MOYENNE PAR ALLEE EN FONCTION DES PHASES

FIG.50



II - FRONT DE SOUTIRAGE ET FRONT DE DEPILAGE

1) Définition et description des deux fronts

L'originalité essentielle des tailles soutirées, par rapport aux tailles classiques entre épontes, réside dans l'existence de deux "fronts" qui progressent à peu près au même rythme et parallèlement.

Le premier "front" est le front d'abattage. Il est parfaitement localisé et paraît comparable à un front de taille classique.

Le deuxième "front" est le front de soutirage. Il est constitué par la limite entre la tranche de charbon en couronne et le vide de l'arrière-taille. Il est beaucoup plus difficile à définir car on n'en connaît ni l'orientation, ni la position exacte, surtout lorsque la puissance de la couche dépasse 8 m et qu'il devient alors difficilement observable.

Il y a interdépendance entre les deux fronts : on peut prévoir que leurs hauteurs respectives, leur proximité plus ou moins grande seront des facteurs déterminants pour le mécanisme.

2) Influence de la progression des deux fronts

La progression de chacun des deux fronts, à la vitesse d'environ 1 m par jour, entraîne l'affaissement du vrai toit qui se répercute sur celui de la taille.

Nous avons représenté l'évolution moyenne des convergences, en fonction du temps, en séparant les différentes phases des travaux (figure 50) et pour chaque allée de taille.

Pour l'ensemble des allées, le tableau ci-dessous fournit les valeurs moyennes des vitesses de convergence.

PHASE		Taille D	Taille S _{3b}	Taille 2
Ripage	vitesse mm/h durée et % du cycl.	21,26 2,3h = 5,4%	19,2 2,1h = 10,8%	19 1,9h = 7 %
Attente	vitesse mm/h durée et % du cycl.	3,5 29,4h = 70,2%	1,2 11,1h = 52,3%	1,6 14,3h = 52 %
Soutirage	vitesse mm/h durée et % du cycl.	7,76 2,6h = 6,1%	7,9 3,4h = 17,5%	3 2,7h = 9,8 %
Dépilage	vitesse mm/h durée et % du cycl.	8 7,7h = 18,3%	7,8 2,8h = 14,4%	3,27 8,6h = 31,3 %
	Vitesse moyenne pour tout le cycle mm/h	5,46	5,3	3,5

On peut faire plusieurs constatations :

- La vitesse de convergence est toujours la plus forte pendant le ripage. des piles. De plus, sa valeur reste du même ordre de grandeur dans les trois tailles, malgré les différences de puissance.

- Le rapport de la vitesse de convergence pendant le soutirage à la vitesse pendant l'abattage est toujours voisin de 1. Toutefois, il augmente sensiblement, en règle générale, dans les dernières allées, quand on se rapproche du front de soutirage (figure 50).

Ce rapport ne paraît donc pas lié à l'épaisseur de la tranche soutirée. Cependant, les valeurs des vitesses qui sont du même ordre en tailles D et S_{3b} (chantiers de puissances comparables) sont 2 à 3 fois plus faible en taille 2 (également trois fois moins puissante).

- Enfin, la taille D se distingue par une forte vitesse de convergence pendant la phase d'attente.

Au total, la part de convergence enregistrée au cours des différents travaux du cycle est donnée ci-dessous :

	Taille D	Taille S_{3b}	Taille 2
Convergence ripage	21 %	40 %	37,5 %
Convergence attente	44 %	14 %	24 %
Convergence soutirage	9 %	26 %	8,5 %
Convergence dépilage	26 %	20 %	30 %
Total soutirage + dépilage	35 %	46 %	38 %

La convergence mesurée au cours de la progression des deux fronts réunis varie donc de un tiers à la moitié de la convergence du cycle.

La convergence pendant le ripage est très grande mais en proportion elle reste du même ordre qu'en couches minces.

Par ailleurs, on note l'importance égale des mouvements pendant le soutirage en taille D et en taille 2 (1) où les puissances sont les plus éloignées l'une de l'autre.

(1) Le cas de Rozelay est particulier en raison d'une part du havage qui raccourcit le temps d'abattage et d'autre part de la présence de la barre grise qui rend plus laborieux et plus long le soutirage. Ces deux facteurs expliquent la répartition différente des convergences.

En recoupant ces diverses observations on aboutit à la conclusion suivante :

L'épaisseur de la couche détermine l'amplitude globale des mouvements. Mais l'importance relative des déformations pendant le soutirage, par rapport à celles qui se donnent au cours des autres phases actives des travaux, notamment le dépilage : les progressions des deux fronts ont des influences étroitement mêlées.

Autrement dit, l'affaissement du vrai toit provoqué par l'enlèvement du charbon de la couronne est ressenti en taille avec un net amortissement. La masse de charbon qui surplombe le soutènement est certainement responsable de cette transmission retardée des mouvements, indépendante de sa hauteur.

En revanche, elle est sans doute à l'origine des fortes convergences en taille D, pendant l'attente c'est-à-dire pendant une phase statique.

C'est ce qui nous amène à nous intéresser plus précisément au comportement de ce charbon qui entoure la taille.

III - COMPORTEMENT DU CHARBON AUTOUR DE LA TAILLE

1) La décohésion de la couronne

La condition nécessaire d'une bonne venue du soutirage, c'est la désagrégation complète du charbon en couronne. Les mesures d'expansion vont permettre d'en apprécier l'étendue.

Mais on pressent déjà que cette déconsolidation a une extension considérable. Elle se traduit par la forte accélération de tous les mouvements dans toutes les allées au moment du ripage des piles (accélération qui augmente normalement quand on se rapproche du front de soutirage). Comme par ailleurs on n'a pas pu mettre en évidence de liaison statistique significative entre les convergences mesurées dans la partie non soutenue de la taille (en avant du soutènement marchant) et les convergences dans la première allée sous les chapeaux (1), on en déduit que la décohésion s'étend jusqu'au front d'abattage. Les chapeaux du soutènement et le grillage parviennent à maintenir l'homogénéité des mouvements et assurent une meilleure cohérence du charbon au moins superficiellement, mais la stabilité de la couronne et du front dans la zone non soutenue pose de sérieux problèmes à l'exploitation et empêche souvent l'installation d'une haveuse.

2) Les mesures d'expansion en couronne

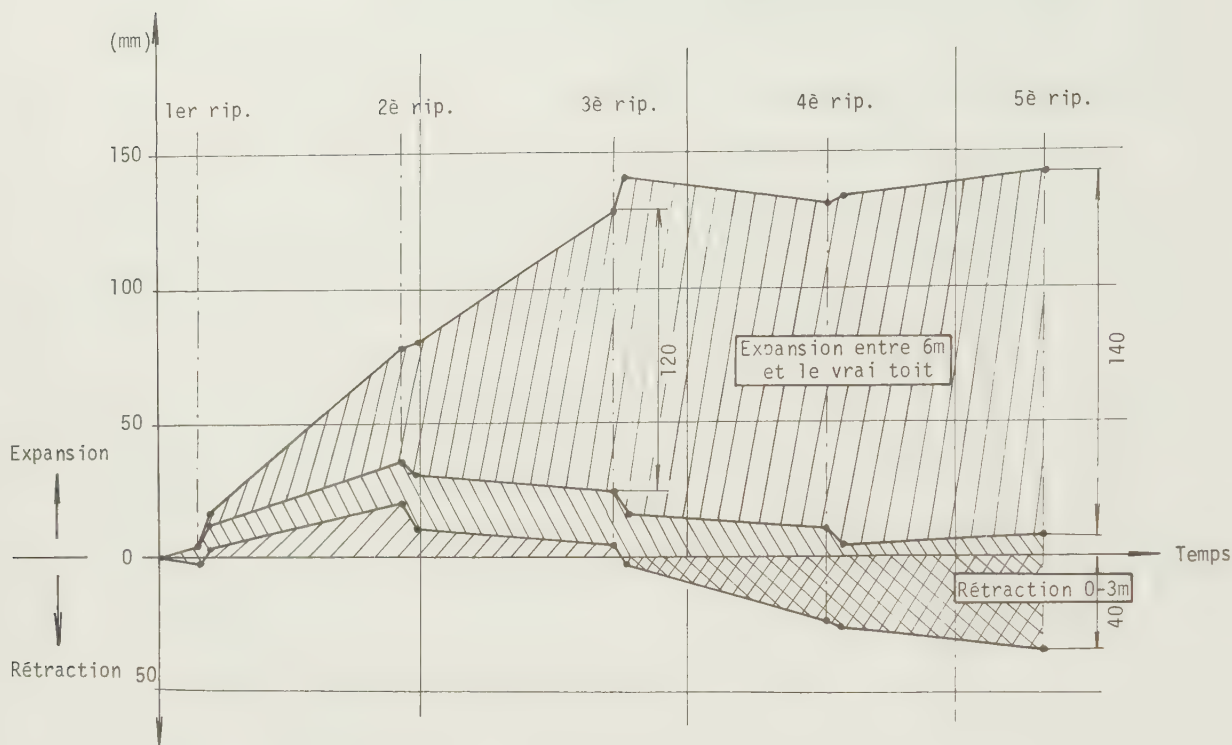
Le comportement du charbon de la couronne est éclairé par les mesures

(1) A Darcy, tout particulièrement, les liaisons entre les convergences dans les allées 1, 2 et 0 sont significatives :

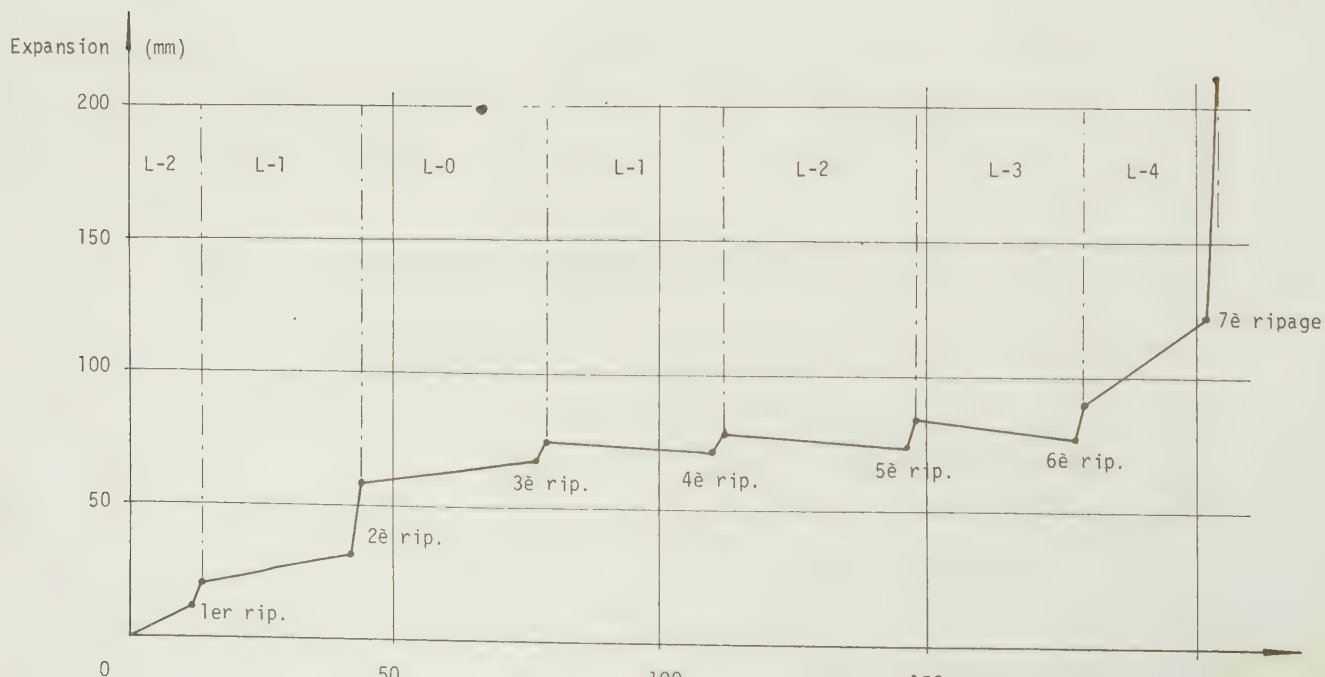
$\rho(CV_1, CV_2) = 0,67$ et $CV_1 \sim CV_2$; $\rho(CV_1, CV_0) = 0,62$ et $CV_0 \approx CV_1 + 85$ alors que pour l'allée -1, on ne trouve pas de liaison significative $\rho(CV_1, CV_{-1}) = 0,11$.

FIG. 51

EVOLUTION MOYENNE DE L'EXPANSION VERTICALE
MESUREE A 3m, 6m ET AU VRAI TOIT
HBCM - BLANZY - DARCY - 4^e COUCHE - TAILLE D



EVOLUTION MOYENNE DE L'EXPANSION VERTICALE
HBCM - RICARD - CEVENNES - 1^e COUCHE - TAILLE 2



d'expansion verticales (1).

Tout d'abord on trouve pour l'ensemble de la couronne (entre le toit de la taille et le vrai toit) une expansion assez considérable dont le taux moyen atteint rapidement 1,5 à 3,5 % suivant les cas.

Son évolution en fonction du temps est illustrée par la figure 51, où sont indiquées aussi les expansions verticales aux horizons 3 m et 6 m pour la taille D.

Les courbes en trait plein représentent les valeurs directement mesurées de l'expansion entre le bas de la couronne (niveau 0) d'une part et les différents points d'ancrages d'autre part (au vrai toit à 6 m, à 3 m). L'écart entre deux de ces courbes représente l'expansion entre les deux ancrages profonds correspondants. Ces expansions sont concrétisées par les différentes parties hachurées.

On remarque immédiatement que l'expansion entre le toit de la taille et le vrai toit se donne presque totalement pendant les trois premiers ripages. Par la suite, cette expansion se stabilise ; elle est dans une certaine mesure limitée par l'action du soutènement et d'autre part, par l'affaissement jusque là différé, du vrai toit. Ce dernier amorce sa descente apparemment à la même vitesse que le toit de la taille, résultat qui recoupe les considérations précédentes sur les vitesses de convergences pendant les travaux de soutirage et d'abattage.

On notera les impulsions dues à chaque ripage et l'accélération finale considérable de l'expansion verticale à Ricard provoquée par la proximité du soutirage.

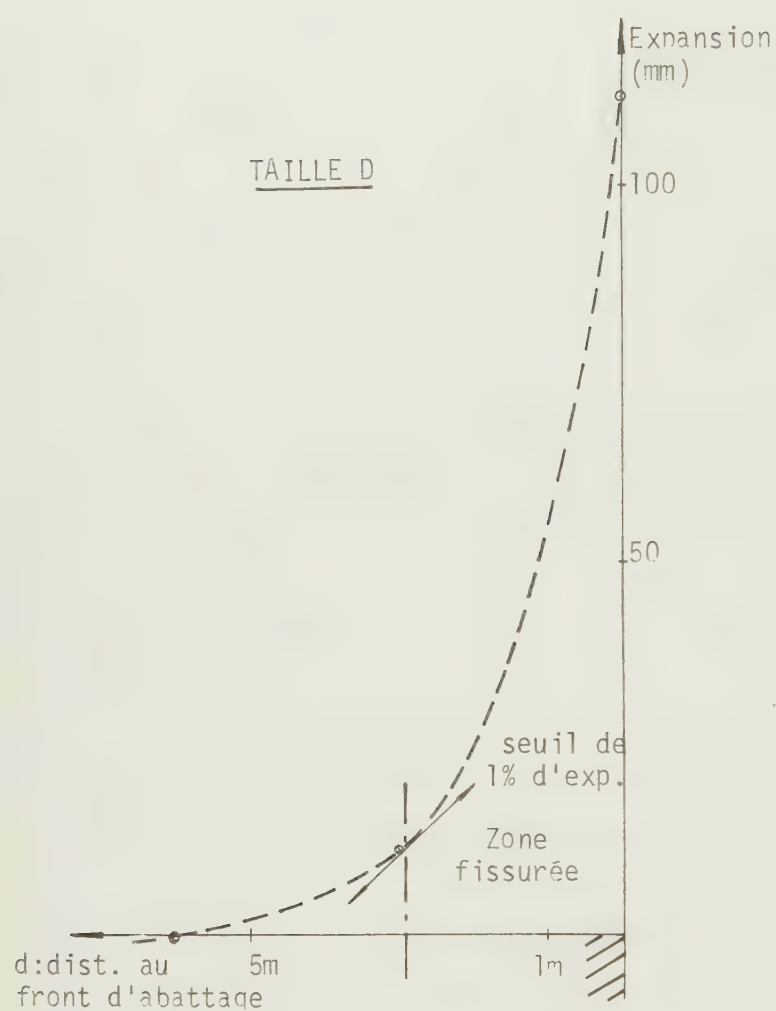
Les autres mesures d'expansion suivent une évolution a priori curieuse. Entre le toit de la taille et le niveau à 3 m, ainsi qu'entre 3 m et 6 m, l'expansion verticale augmente faiblement dans les premières allées puis décroît ensuite jusqu'à devenir négative.

(1) En raison des conditions très particulières créées par la barre grise, nous ne nous appuierons pas dans ce paragraphe sur les mesures d'expansion de Rozelay, qui feront l'objet d'une étude à part dans le chapitre suivant. Précisons tout de même que les résultats sont cohérents avec ceux exposés ici.

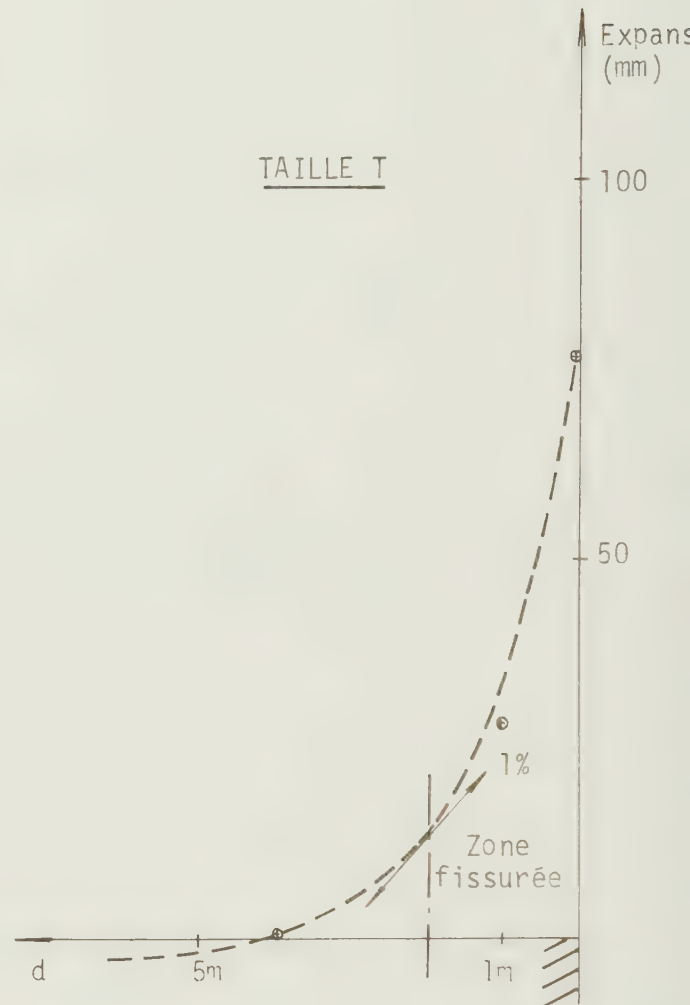
FIG. 52

REPARTITION DES EXPANSIONS HORIZONTALES
EN FONCTION DE LA DISTANCE AU FRONT D'ABATTAGE

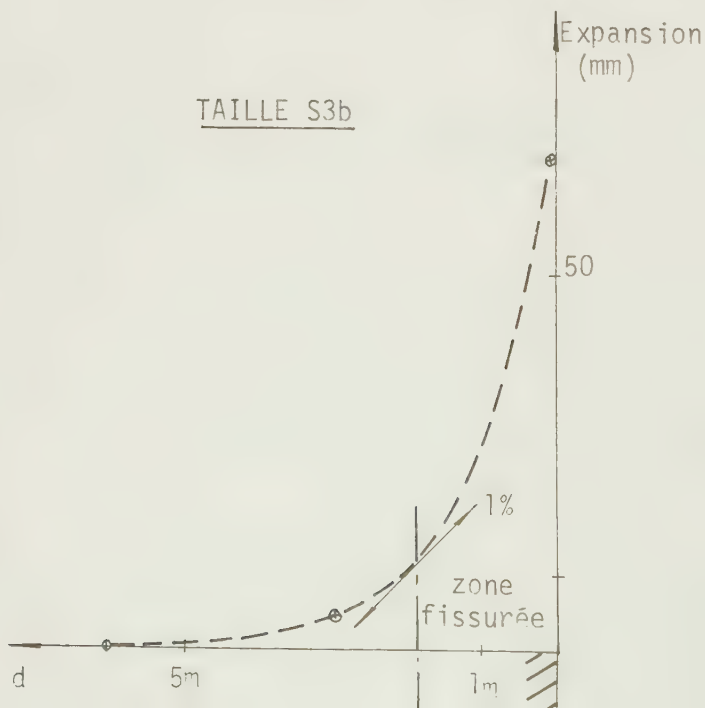
TAILLE D



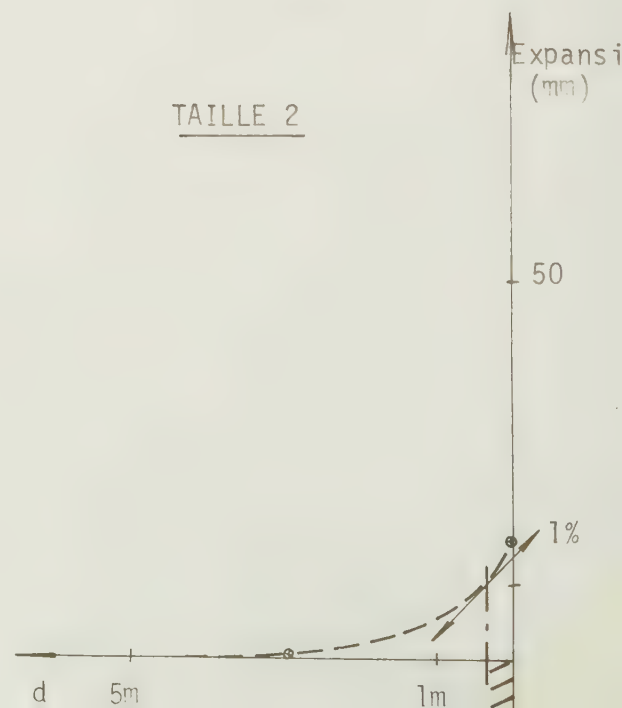
TAILLE T



TAILLE S3b



TAILLE 2



Une expansion négative (ou rétraction) ne peut pas dans ce cas s'expliquer par une recompression puisqu'il n'y a pas une rétraction correspondante entre le toit de la taille et le vrai toit. On est donc amené à l'interpréter comme l'effet de transfert et de pertes de matière vers le soutirage. Cette hypothèse sera ultérieurement confirmée par l'examen des expansions obliques à 45° (elles aussi négatives en taille D) ainsi que par l'étude de l'ensemble des déplacements horizontaux.

3) Les expansions horizontales

Les expansions moyennes mesurées horizontalement pendant un cycle dans le front d'abattage sont représentées (1) figure 52.

On constate qu'elles s'amortissent très rapidement en profondeur et que pour l'essentiel, l'expansion est localisée dans les trois premiers mètres en avant du front.

	Taille D	Taille S _{3b}	Taille 2	Taille T	
De 0 à 3 m	3,3 %	2 %	0,5 %	3,1 %	de 0 à 2 m
De 3 à 6 m	0,3 %	0,1 %	0,02 %	0,7 %	de 2 à 4 m

En fait ce taux moyen d'expansion n'est pas représentatif de l'évolution du taux réel d'expansion du charbon. Pour la suivre, il faudrait connaître une fonction continue qui relie valablement les points expérimentaux obtenus.

(1) Nous avons également utilisé des mesures d'expansion horizontales effectuées par les Houillères de Blanzzy dans le front de la taille T (siège Darcy). Cette taille était partiellement havée et deux zones de mesures ont été implantées : une dans la partie havée, une autre dans la partie qui ne pouvait pas être havée à cause du pendage. Les résultats des deux zones sont semblables.

L'allure de cette répartition et aussi l'étude que nous avons menée précédemment sur le comportement pulvérulent du charbon autour des voies, nous a incité à rechercher une fonction de répartition de forme exponentielle (2). En raison du petit nombre de points (2 ou 3) nous avons préféré, à un ajustement, un simple calcul des paramètres d'une fonction, à laquelle on impose de passer par les points mesurés :

$$Z = Ae^{-\frac{d}{u}} + B$$

Z étant l'expansion supposée nulle à 6 m et d la distance au front.

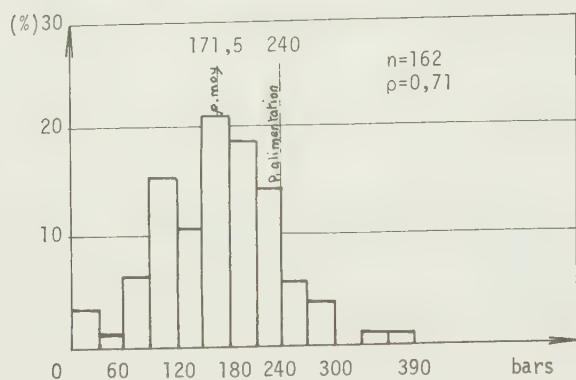
On trouve :

	Taille D	Taille S _{3B}	Taille 2	Taille T
Amplitude A en mm	114,7	65,3	16,2	80,6
Raideur u	1,36	1,10	0,95	1,29
Ordonnée de l'asymptote B en mm	- 1,44	- 0,28	- 0,03	- 3,64

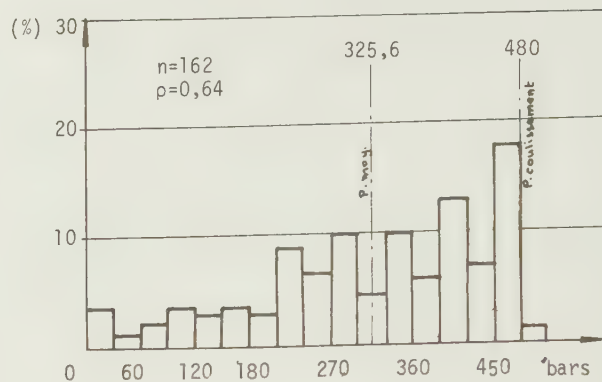
Les très faibles valeurs de B montrent que la pente de la tangente à ces courbes Z'(d), (qui représente le taux d'expansion réel en un point) est pratiquement nulle à 6 m, ce qui rend légitime l'emploi de cette fonction.

Ce procédé nous permet d'estimer la distance au front à partir de laquelle le taux d'expansion réel de 1 % (limite admise pour un comportement de type élastique) est dépassé. Il s'agit du point pour lequel la pente de la tangente à la courbe est supérieure à 1 (avec les échelles choisies). On trouve ainsi que la zone de charbon complètement fissurée, très peu étendue en taille 2 à Ricard atteint 2 m de profondeur en tailles T et S_{3B} et 3 m environ en taille D.

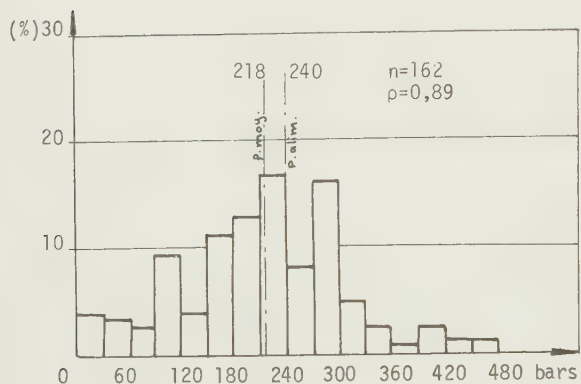
(2) L'avantage de cette fonction est aussi d'avoir la même forme pour le taux d'expansion qui est sa dérivée



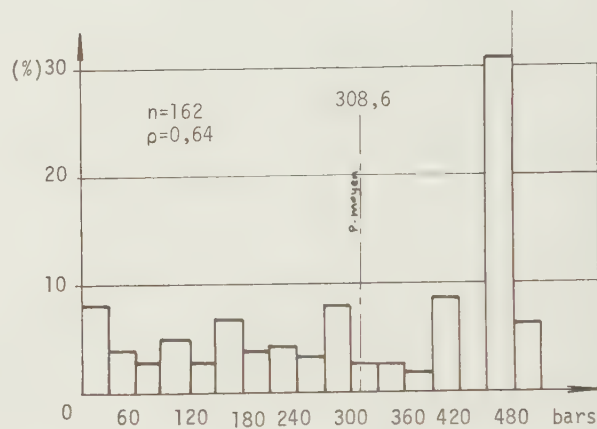
Vérin avant pression de pose



Vérin avant pression avant ripage



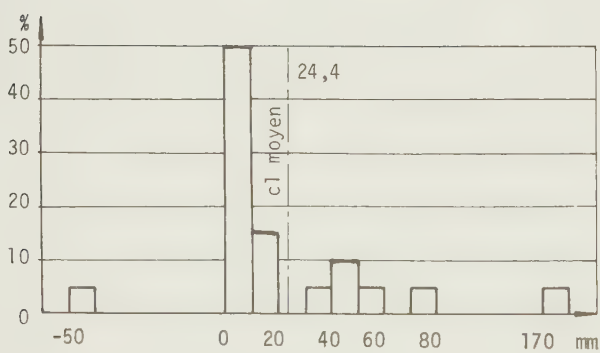
Vérin arrière pression de pose



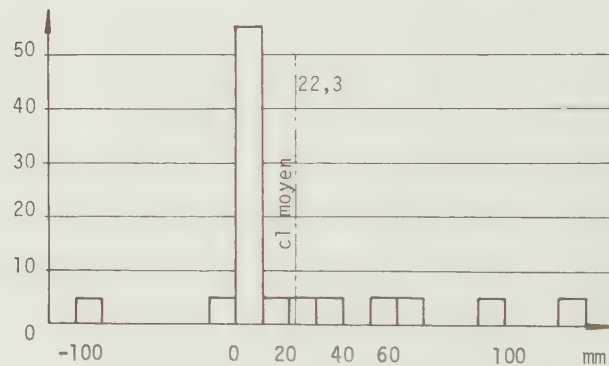
Vérin arrière pression avant ripage

HISTOGRAMMES DES COULISSEMENTS DES VERINS (PILE DE REFERENCE)

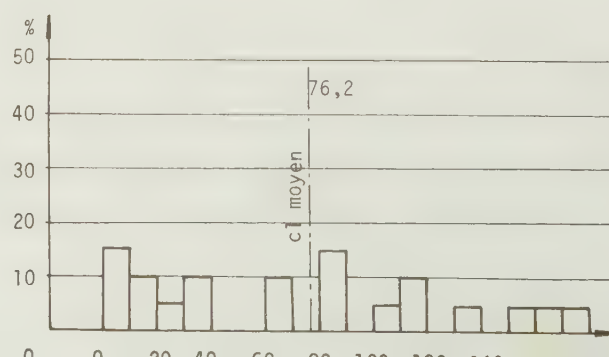
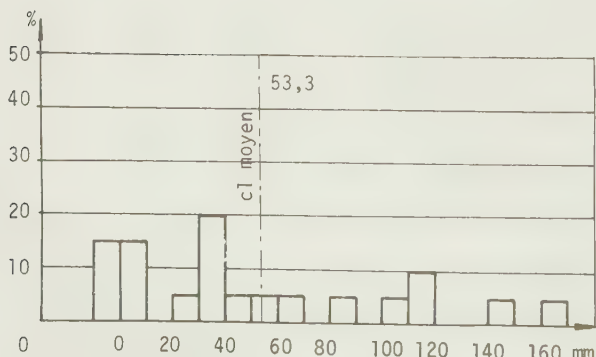
(DARCY - TAILLE D)



Vérin avant gauche



Vérin avant droit



4) Conséquences

Il apparaît donc que la déconsolidation non seulement affecte la totalité de la couronne mais peut s'étendre assez profondément à l'intérieur du massif. Par analogie avec l'étude des voies, on peut considérer que le charbon autour des tailles tend vers un comportement de type pulvérulent.

Mais le régime de déformations qui règne dans ce massif, notamment en couronne est très particulier. Les expansions verticales montrent que la planche de charbon au-dessus du soutènement est désolidarisée du vrai toit. On a constaté par ailleurs que la charge sur les vérins n'atteint que très rarement la charge de coulissement. A Darcy en particulier, elle correspond au poids de la couronne de charbon qui les surplombe.

Les rendements sont dans l'ensemble médiocres :

	Taille D	Taille S _{3B}	Taille 2
Rendement à la pose	AV=0,71 AR=0,89	AV=0,79 AR=0,55	AV=0,85 AR=0,90
Rendement au ripage	AV=0,67 AR=0,64	AV=0,74 AR=0,48	AV=0,48 AR=0,47

La figure 53 donne un exemple de résultats des mesures de pression et de coulissement. On remarque une forte dispersion et surtout une fréquence importante de charges nulles (sur les vérins arrières notamment) et de coulissements négatifs ou nuls.

Toutes ces considérations illustrent la difficulté de contrôler par le soutènement les déformations de la couronne, qui, très déconsolidée et coincée entre les chapeaux et le vrai toit va glisser vers l'arrière-taille et alimenter ainsi le soutirage.

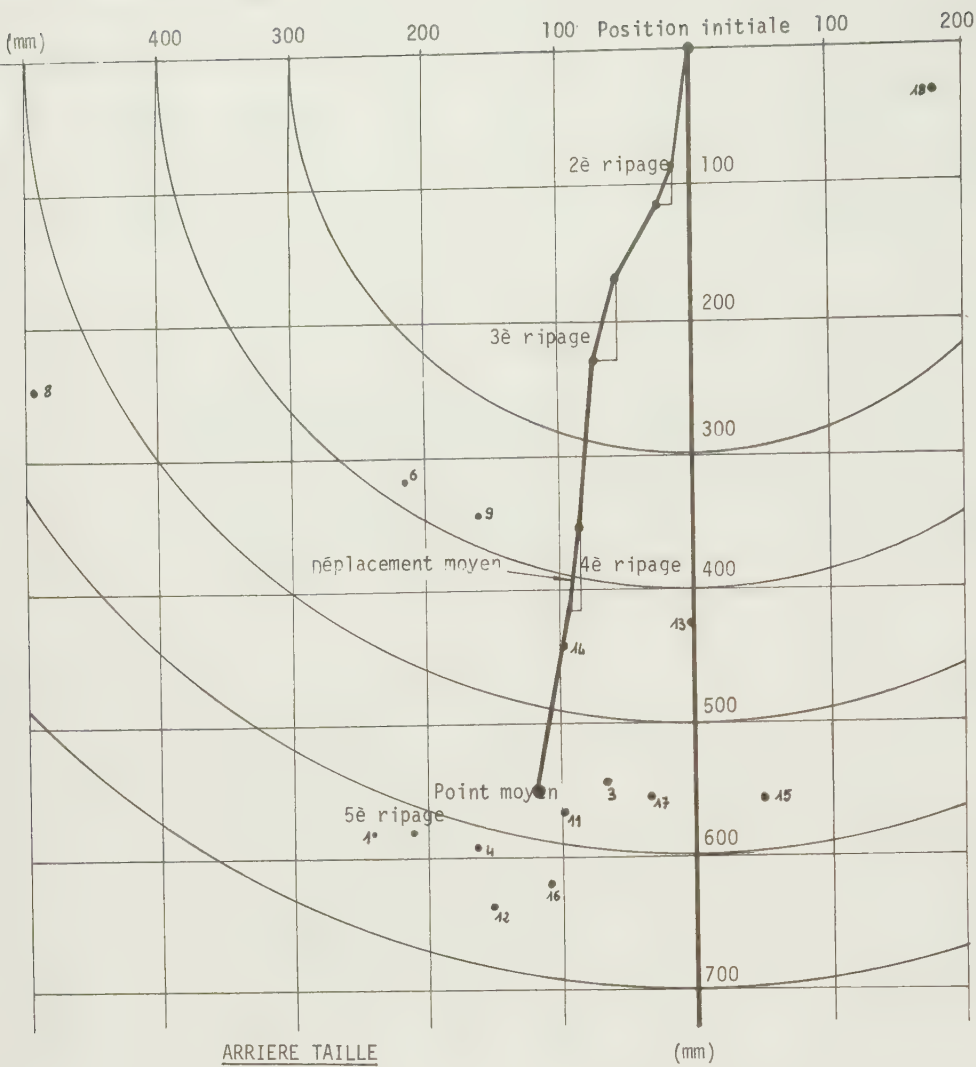
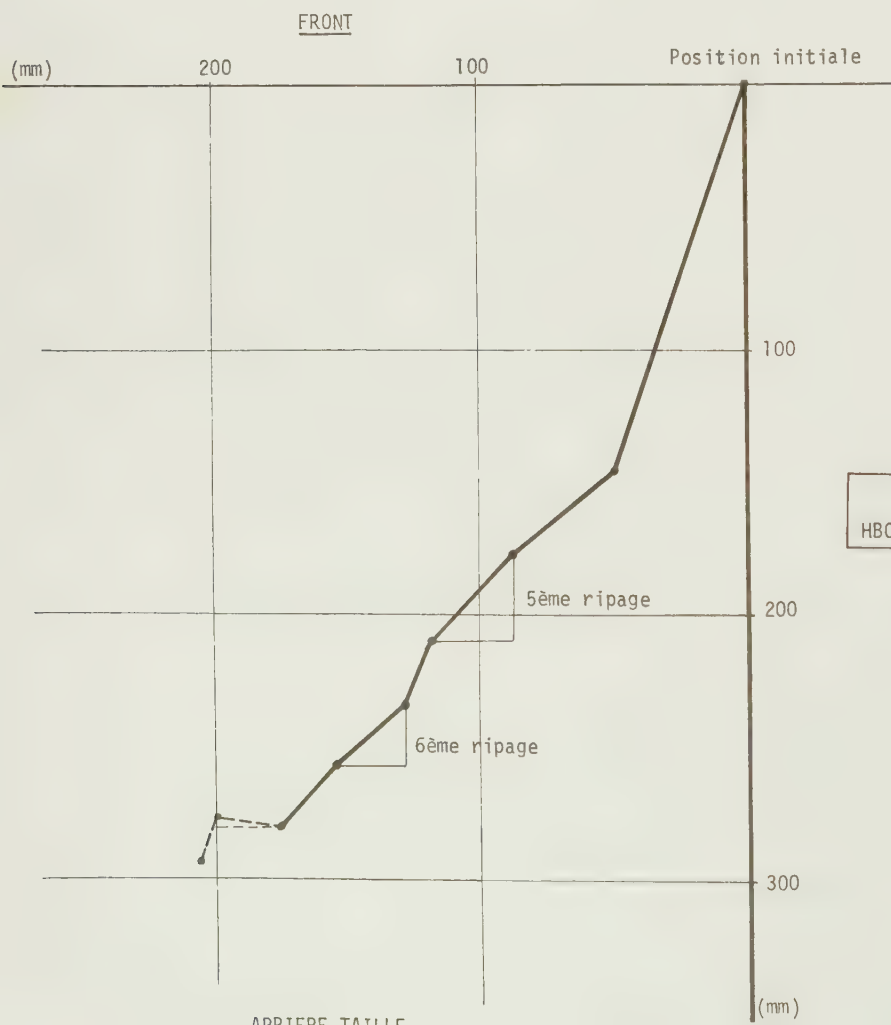


FIG.54

POSITION DES POINTS REPRESENTATIFS
DES DEPLACEMENTS HORIZONTAUX
ATTEINTS AU 5e RIPAGE

HBCM - BLANZY - DARCY
4e COUCHE - TAILLE D



DEPLACEMENT HORIZONTAL MOYEN
HBCM - BLANZY - ROZELAY - 2e C - TAILLE S3b

IV - DEPLACEMENTS D'ENSEMBLE AUTOUR DE LA TAILLE

1) Déplacement horizontal

Les mouvements d'ensemble de la couronne et de la couche toute entière constituent une des caractéristiques les plus marquantes de ce type d'exploitation.

Nous avons directement mesuré un déplacement horizontal vers l'arrière considérable. Il se décompose en un déplacement perpendiculaire au front et un déplacement parallèle au front moins important. Ce dernier est dirigé vers la partie déjà soutirée de la taille (c'est-à-dire vers le haut car on soutire généralement en descendant dans le sens du pendedage).

Ces deux déplacements sont illustrés figure 54. Les différents points numérotés indiquent les positions finales atteintes par chaque broche de mesure (ou référence) au moment de sa disparition dans le soutirage en les supposant parties toutes de la même position initiale fixe. La courbe représente le déplacement moyen correspondant à l'ensemble des points.

On constate que les déplacements s'accélèrent à l'approche du soutirage. Une autre illustration de cette "aspiration" par le soutirage est fournie par les mesures d'inclinaisons du soutènement. On mesure un basculement des vérins vers l'arrière dont la direction et l'amplitude sont (remarquablement) concordantes avec le déplacement horizontal.

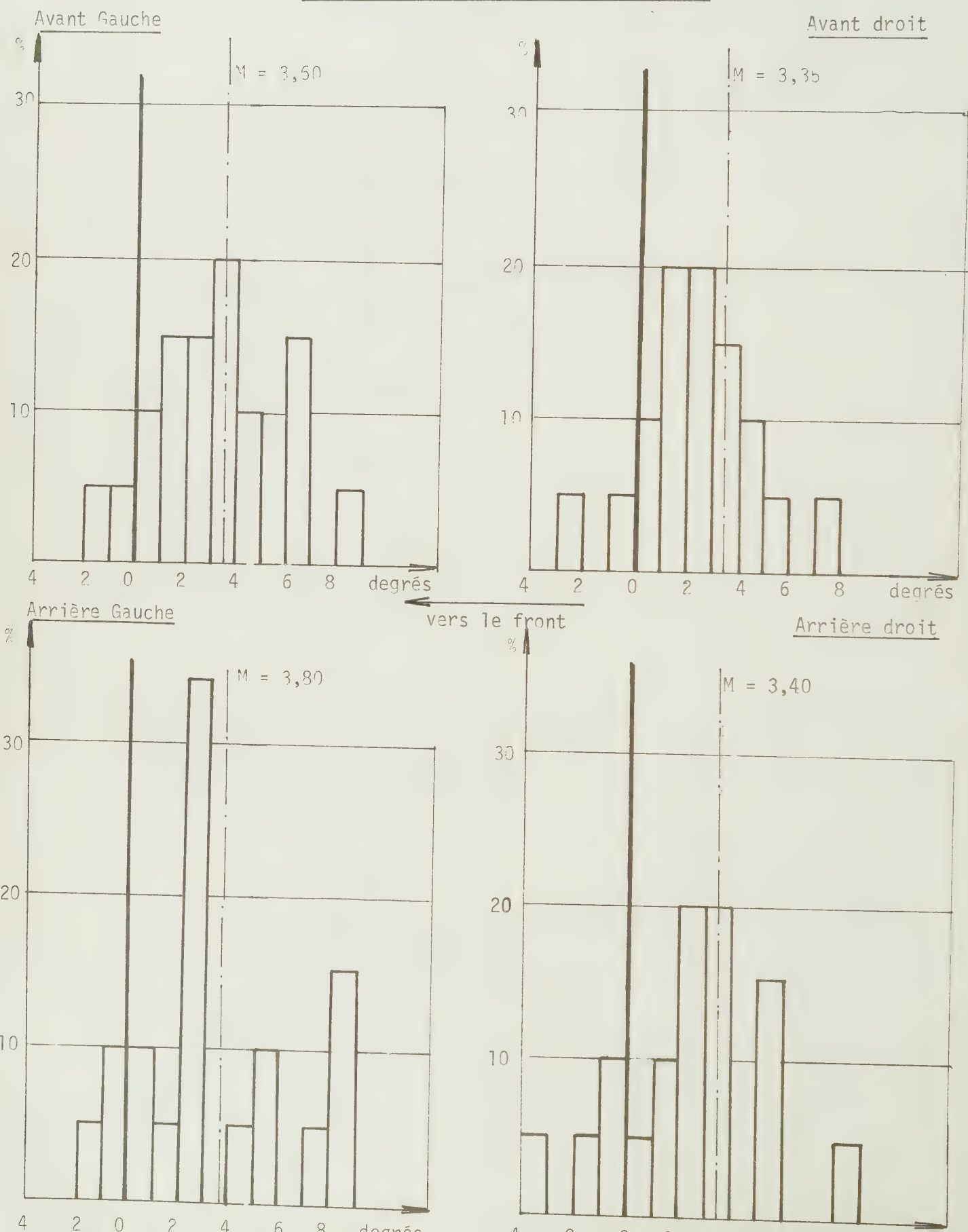
Le schéma ci-dessous symbolise le basculement des quatre vérins de chaque pile et la figure 55 donne un exemple de la dispersion de ces mesures (en degrés). La convention est la suivante : chaque croisillon symbolise un vérin : le rectangle central représentant la verticale, chacun des rectangles adjacents représente un sens d'inclinaison par rapport au front d'abattage (vers l'avant ou l'arrière, vers la droite ou la gauche).

FIG. 55

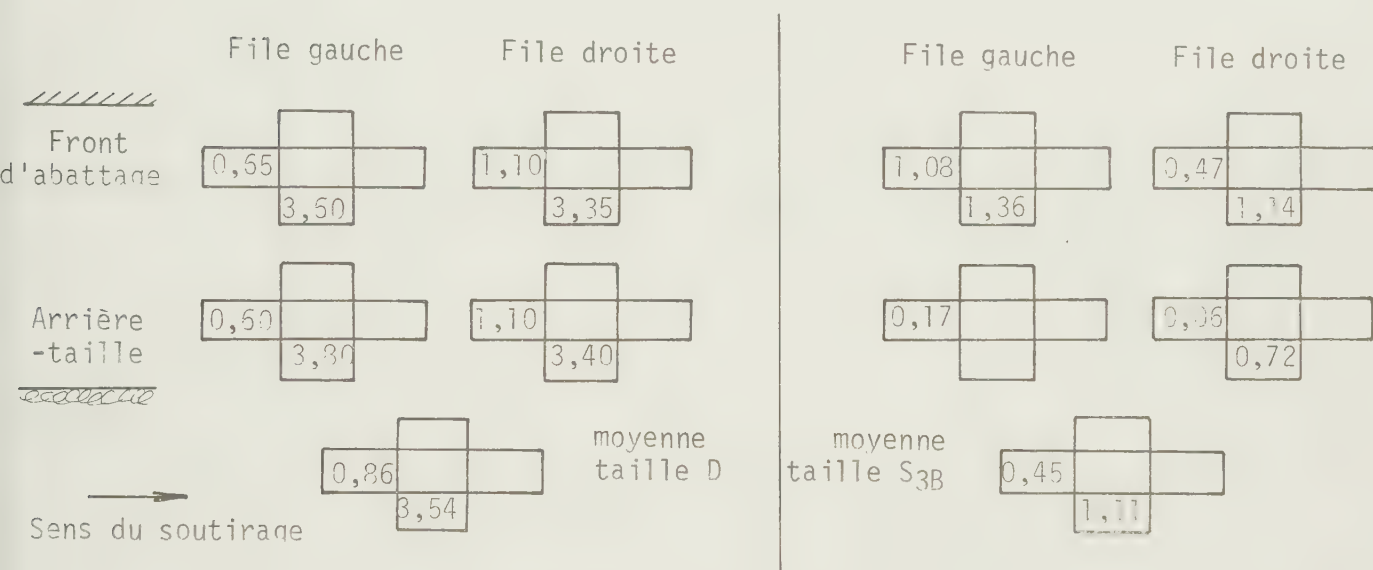
HISTOGRAMMES DES INCLINAISONS DES VERINS
(PILE DE REFERENCE) DANS LE PLAN PERPENDICULAIRE AU FRONT

(DARCY - TAILLE D)

Basculement entre la pose et la dépose



La valeur de l'inclinaison moyenne observée par vérin est reportée (en degré) dans le rectangle correspondant à la direction de cette inclinaison. On voit que le basculement est toujours vers l'arrière et vers la gauche en regardant le front. Nous avons ajouté, en-dessous, l'inclinaison moyenne et sa direction pour chaque taille.



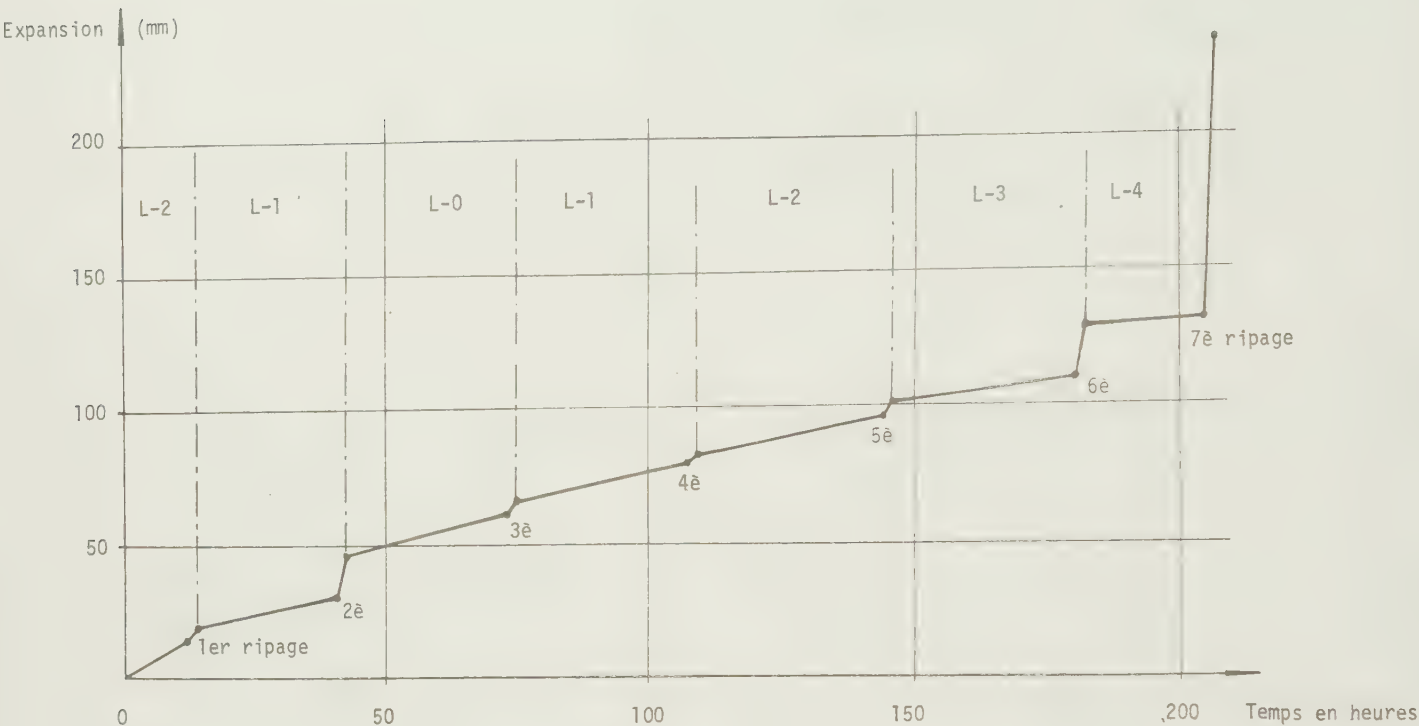
Le déplacement horizontal correspondant à ce basculement moyen est pour la taille D de 120 mm vers l'arrière et de 25 mm latéralement, l'observation directe fournissant 140 mm et 26 mm. Pour Rozelay, on trouve respectivement 38 mm et 16 mm contre 42 mm et 25 mm.

A Ricard, on n'a pas pu mesurer le déplacement horizontal à cause de la pente trop forte du chantier et les mesures sur les vérins n'ont montré qu'un léger basculement vers l'avant (inférieur à 1°) qu'on a attribué au glissement relatif important du mur par rapport à la couronne. On a cependant la preuve du déplacement horizontal en comparant les expansions à 45° entre le vrai toit et la couronne (figure 56a) avec les expansions verticales (figure 51).

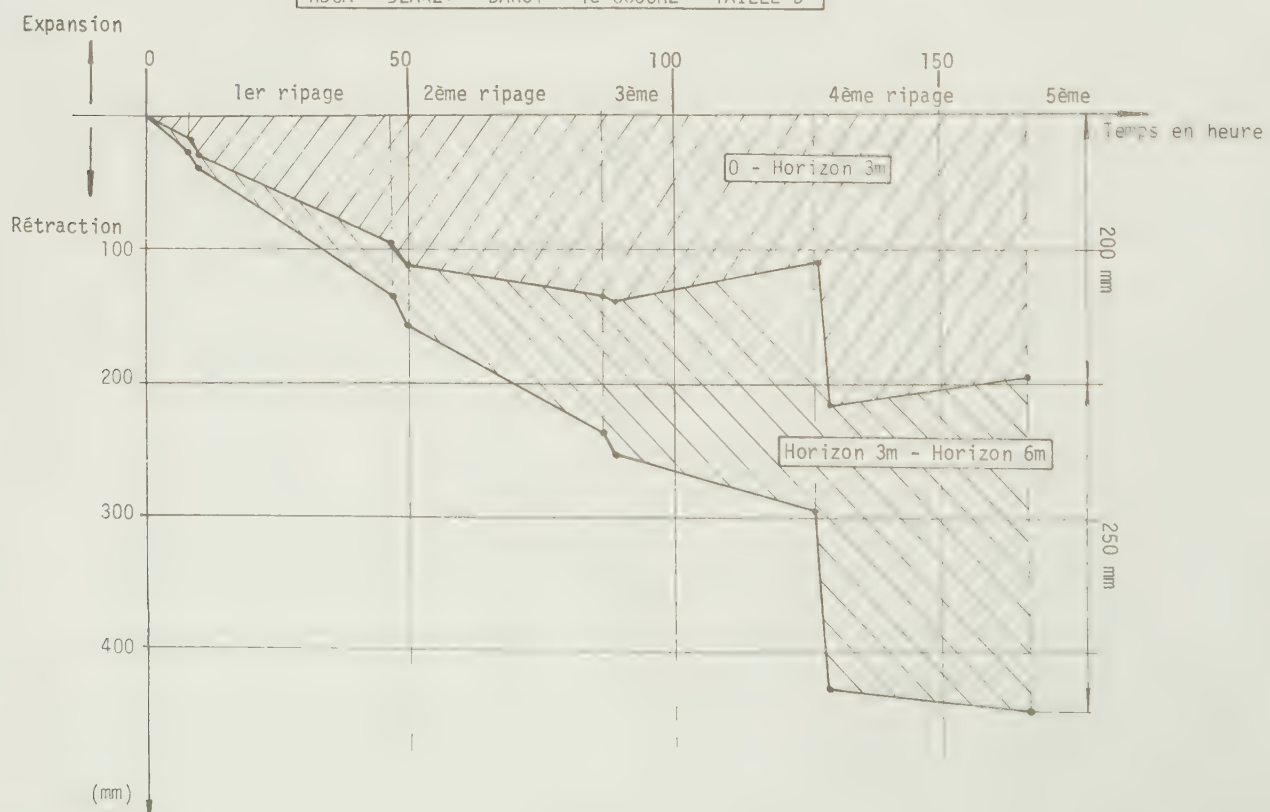
Les premières croissent régulièrement en fonction du temps et atteignent des valeurs nettement plus fortes que les expansions verticales qui, elles, s'amortissent. On en déduit l'existence d'un glissement vers l'arrière de la couronne par rapport au vrai toit. Ce mouvement engendre naturellement des expansions plus fortes sur les dispositifs à 45° car le point d'ancrage au vrai toit est plus loin vers l'avant, dans une zone où le toit est plus stable.

FIG. 56

EVOLUTION MOYENNE DE L'EXPANSION A 45°
HBCM - CEVENNES - RICARD - 1^è COUCHE - TAILLE 2



EVOLUTION MOYENNE DES DEFORMATIONS A 45°
(DEFORMATIONS PAR RETRACTION)
HBCM - BLANZY - DARCY - 4^è COUCHE - TAILLE D



2) Basculement de la couronne

Dans la taille D, les expansions à 45° ont une allure toute différente (figure 56b) Elles sont constamment négatives, quel que soit le niveau où on les mesure, ce qui traduit des rétractions. On peut rapprocher ce résultat des mesures d'expansions verticales dont nous avons interprété l'évolution par des pertes de matière.

L'explication avancée pour ce phénomène, est celle qui consiste à envisager un basculement d'ensemble de la couronne, en éventail. Les points les plus proches du toit se déplacent davantage vers l'arrière que ceux qui sont voisins du soutènement et freinés par lui, de sorte que leur distance relative diminue. Ce basculement s'accroît à chaque rîpage.

La figure 57 reconstitue schématiquement les déformations de la couche à partir des valeurs mesurées. On peut en effet, dessiner la déformée du toit de la taille grâce aux mesures de convergence et de déplacement horizontal. On peut représenter aussi la voûte du vrai toit à l'aide de la mesure de l'expansion verticale. Ces deux éléments permettent enfin d'estimer la courbure des fibres horizontales intermédiaires de la couronne notamment celles sur lesquelles sont situés les ancrages des extensomètres à 45° . Les résultats fournis par ces derniers déterminent la position finale de chacun de ces points. Cette représentation des déformations de la couronne est bien compatible avec la totalité des observations. Elle n'est cependant valable que pour une couche suffisamment puissante pour permettre ce basculement et un tel phénomène ne se produit pas à Ricard.

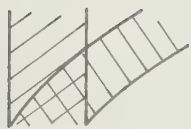
3) Conclusion : mécanisme du déplacement horizontal

Il est essentiel d'observer que le mécanisme décrit, non seulement concerne la totalité de la masse de charbon au-dessus du soutènement,

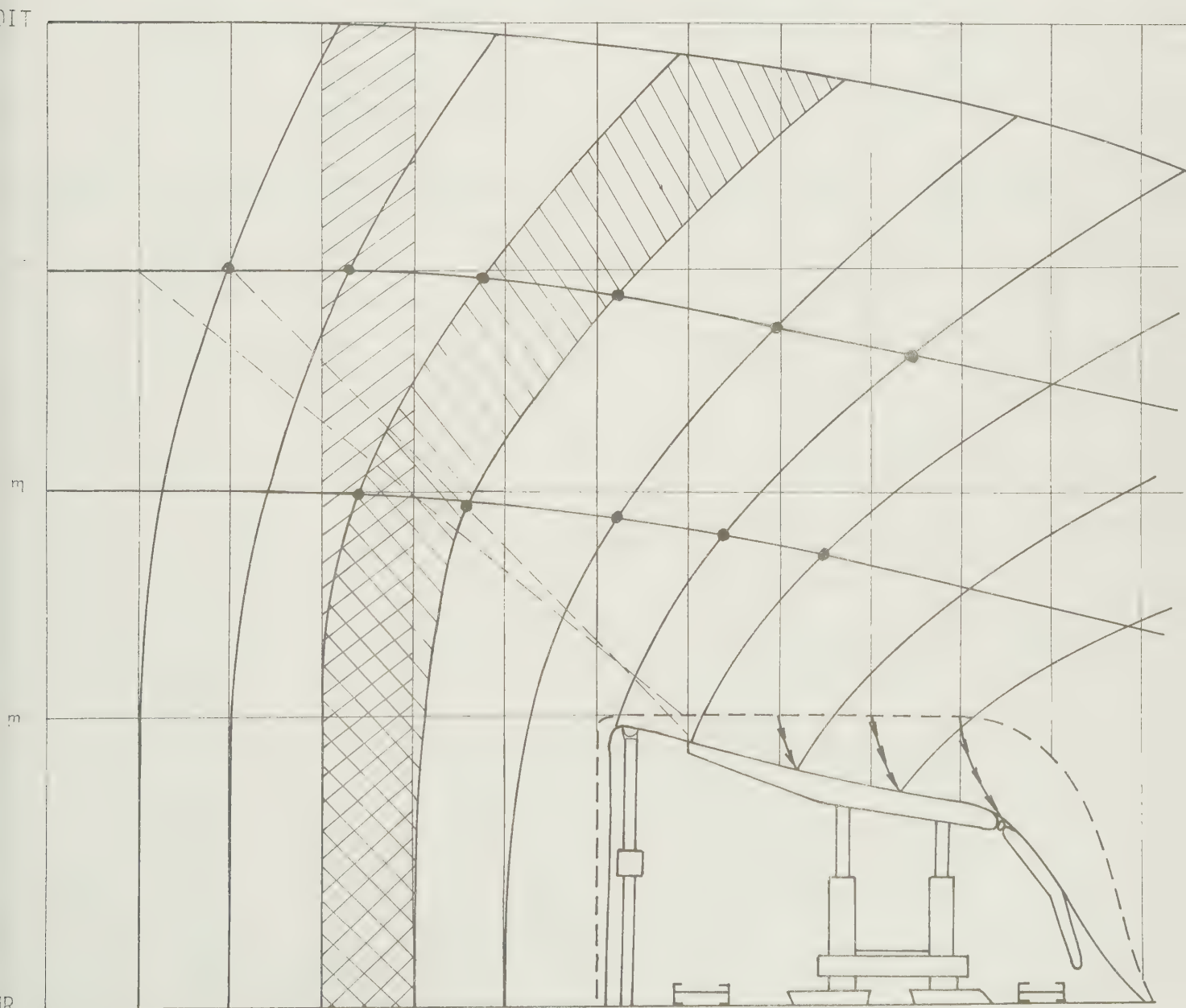
FIG. 57

RECONSTITUTION SCHEMATIQUE DES DEFORMATIONS
PRESUMES DE LA COURONNE DE CHARBON
DARCY - TAILLE D

Points de déplacement mesuré

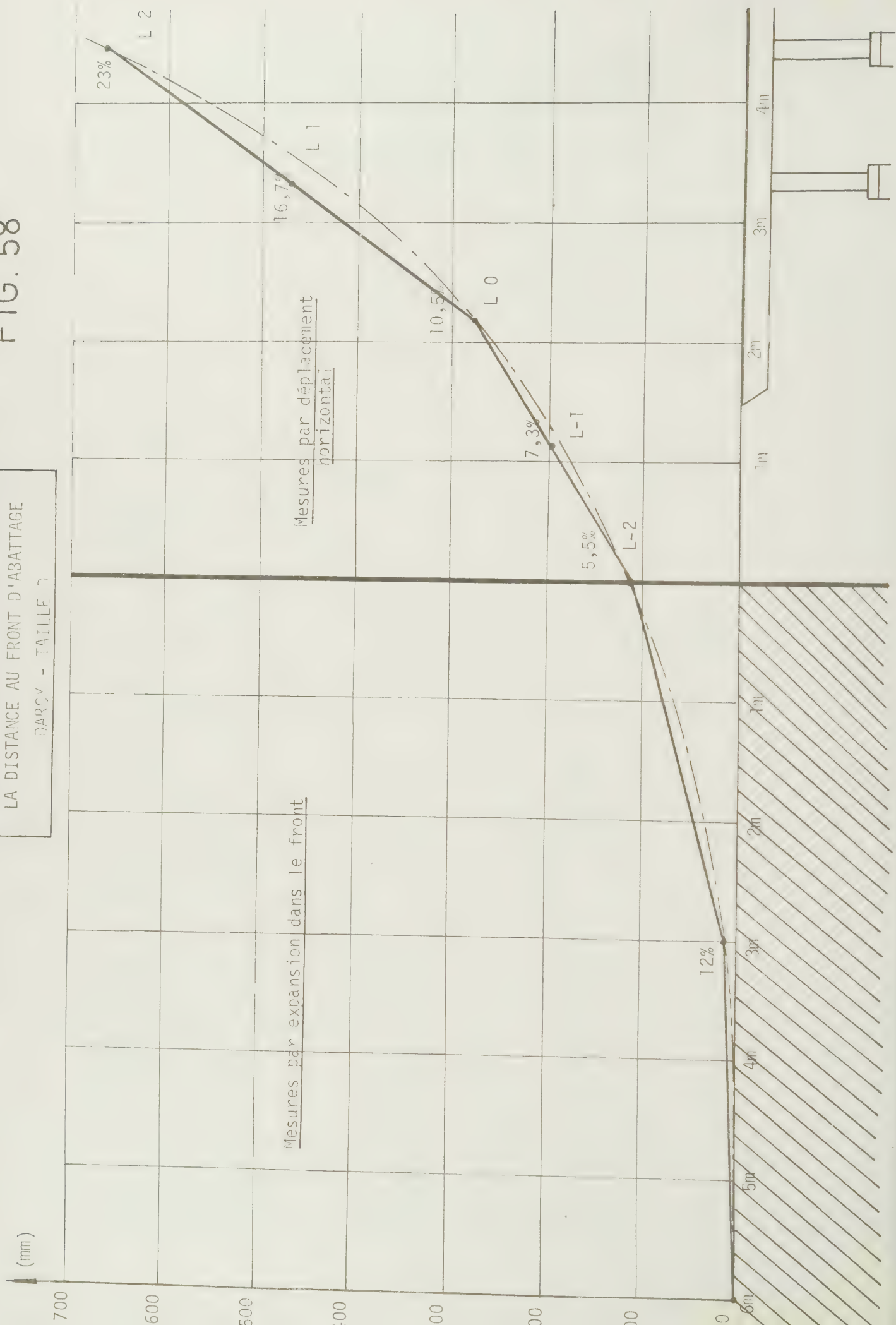


Déplacement d'une tranche de charbon



EXPANSION DU CHARBON EN FONCTION DE
LA DISTANCE AU FRONT D'ABATTAGE
PARCOUR - TAILLE 2

FIG. 58

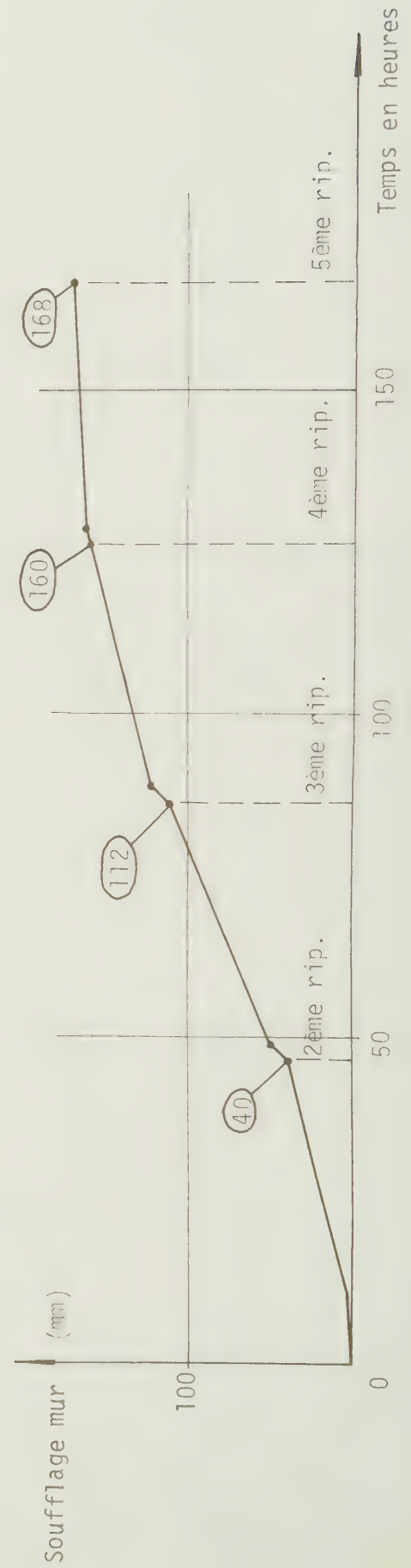
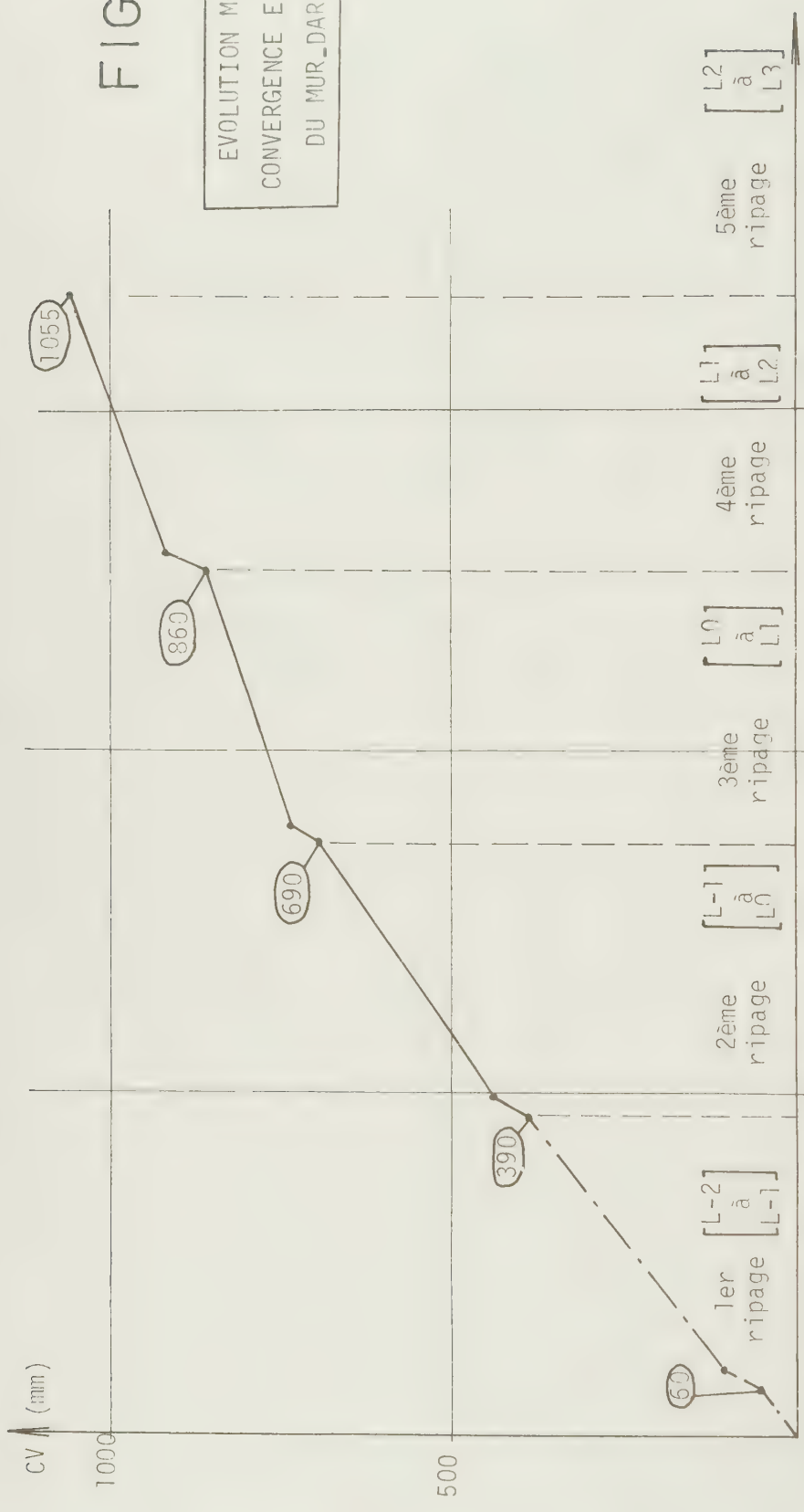


mais encore prend naissance très nettement, au-dessus et en avant du front de dépilage. Il y a donc une relation entre le comportement de la tranche de charbon soutirée (tranche supérieure) et celui de la tranche inférieure dépilée classiquement. Ainsi, nous avons signalé que les expansions horizontales obéissent à une loi exponentielle en fonction de la distance entre le front et le point de mesure. Or, on vérifie que la pente de cette courbe juste avant le front s'ajuste avec la pente de la courbe du déplacement horizontal tracée également en fonction de la distance au front (figure 58). La continuité des deux phénomènes prouve que c'est la totalité de la couche qui glisse vers le vide créé dans l'arrière-taille successivement par le front de dépilage qui amorce la détente du massif, puis par le front de soutirage.

Ce mécanisme fondamental est commun à tous les chantiers, quelles que soient les particularités (tel que le basculement d'ensemble du à la puissance de la couche).

FIG. 59

EVOLUTION MOYENNE DE LA
CONVERGENCE ET DU SOUFFLAGE
DU MUR_DARCY - TAILLE D



V - MOUVEMENTS DES EPONTES

D'après les mesures d'expansions verticales, nous avons constaté que le toit de la couche descend suivant la même courbe d'affaissement que le toit de la taille, mais avec un certain retard. Cet amortissement de l'affaissement du toit constitue une des conditions d'exploitation dans ce type de chantier. Il permet notamment d'éviter le mélange du charbon et des premiers bancs du toit dans le soutirage, à condition que ce dernier progresse régulièrement.

L'affaissement différé du haut toit est rendu possible par le décalage entre les deux fronts, la couronne de charbon servant en quelque sorte d'amortisseur. La largeur de la taille est donc un facteur important de contrôle du mécanisme de soutirage.

Le gonflement du mur suit le front de défilage et est surtout lié à sa nature géologique.

L'expansion de la sole sur les deux premiers mètres a atteint les valeurs suivantes :

Taille D	Taille S _{3R}	Taille 2
168 mm	250 mm	14 mm

Très réduit à Ricard où elle représentait 2 % de la convergence, elle est plus importante à Darcy (15 % de la convergence) (figure 59) et surtout à Rozelay où elle atteint 40 % de la convergence. En effet, dans ce dernier cas, le mur très hétérogène était constitué d'une barre stérile d'un peu moins de 1 mètre entre deux passes charbonneuses de 30 cm à 1 m.

VI - CONCLUSION

Il peut être intéressant de comparer notre analyse du mécanisme en taille avec l'étude que nous avons faite en voie.

Les deux types de comportement présentent des similitudes. Par exemple, les gradients de convergences mesurées en taille sont proportionnels à ceux que nous avons pu relever dans les voies de desserte à proximité du front. Le lien entre ces deux mouvements est leur origine commune : l'affaissement du toit, lui-même lié à la puissance de la couche (1). La déconsolidation du charbon autour des ouvrages est également un point de similitude important. Cependant, le phénomène élémentaire dans les deux cas est fondamentalement différent.

Ainsi, les mesures ont été faites dans un matériau, certes pulvérulent, mais sur des échelles de temps très différentes (un cycle soit environ une journée dans les tailles, plusieurs mois dans les galeries). On peut expliquer ainsi que les expansions à front atteignent des valeurs inférieures à celles que finiraient par atteindre les expansions en voie, à une même distance du bord de la cavité.

Mais par ailleurs, l'étendue de la zone pulvérulente en avant du front de taille atteinte en une journée est plus grande que celle qu'on pourrait déduire de notre modèle descriptif de propagation de la détente et de l'expansion autour des voies. Rappelons en effet que la vitesse de cette propagation (quelques cm/jour) est beaucoup moins rapide que la progression du front de taille (1 m/jour). Autrement dit, la zone pulvérulente précédant le front a une étendue sensiblement constante avec le temps.

(1) Le gradient de convergence moyen en taille est de :

- 233 mm/m en taille D contre 40 mm/m en voie à 15 m en avant du front
(30 mm/m en voie de tête et 50 mm/m en voie de base).
- 133 mm/m en taille 2 contre 25 mm/m à 25 m derrière le front.

Nous remarquons d'autre part que cette étendue est grande et dépend nettement de l'ouverture de la couche.

Il faut donc expliquer le mécanisme autrement que par un simple processus de détente. Nous admettrons que la taille évolue dans un matériau qui a déjà été très éprouvé (voire même broyé) par les surcontraintes qui précèdent le front. Ce sont les pressions de terrains qui assurent la déconsolidation de la couronne et c'est ce processus qui permet le soutirage (d'où le nom donné parfois à la méthode "soutirage par pressions de terrains"). Les conditions sont ensuite créées pour un glissement d'ensemble de la couche vers l'arrière sous l'effet de la détente apportée par l'exploitation, et également pour les déformations considérables d'un charbon soumis à l'affaissement du toit.

Ajoutons toutefois que les conditions particulières à chaque chantier sont susceptibles de faire varier la forme du mécanisme de déformation. Ainsi, la dualité entre les fronts de soutirage et d'abattage, qui gouverne pour une large part ce mécanisme, est liée à la puissance de la couche ou plus précisément au rapport des hauteurs de chaque front. C'est ce rapport qui permet soit qu'on se rapproche, dans une certaine mesure, du cas des couches minces (comme à Ricard) soit au contraire qu'on se situe dans le comportement typique d'une couche puissante (tel que nous venons de l'analyser pour le cas de Darcy).

Les conséquences de ce mécanisme ainsi que l'étude des principaux facteurs influents font l'objet du chapitre suivant.

PLAN DU CHAPITRE VII

APPLICATIONS DU MECANISME ET INFLUENCE DE FACTEURS EN TAILLE

I - INFLUENCE DE QUELQUES FACTEURS

- 1) Homogénéité de la couche
- 2) Influence de la puissance, de la profondeur et de la portance du soutènement
- 3) Conclusion

II - APPLICATION AUX CONDITIONS D'EXPLOITATIONS

- 1) Conditions de soutirage
- 2) Le front d'abattage.

APPLICATIONS DU MECANISME ET INFLUENCE DE FACTEURS EN TAILLE

Nous allons envisager tout d'abord la manière dont certains éléments influencent activement le mécanisme, en nous appuyant sur l'étude de ce dernier et aussi sur les connaissances antérieurement acquises en couches minces.

Ensuite, nous examinerons les conséquences et les applications pratiques qui résultent de l'ensemble de l'étude des tailles.

1 - INFLUENCE DE QUELQUES FACTEURS

Les trois campagnes de mesures en couches puissantes constituent un échantillon trop limité pour que nous puissions examiner toutes les influences connues dans les exploitations classiques. Certaines situations ne se sont pas présentées comme par exemple l'existence de zones sus-jacentes anciennement dépilées ou encore la rencontre par la taille d'accidents tectoniques importants. Certains éléments n'ont pas pu être mesurés, ainsi les éventuelles différences de caractéristiques mécaniques entre les charbons des trois couches étudiées.

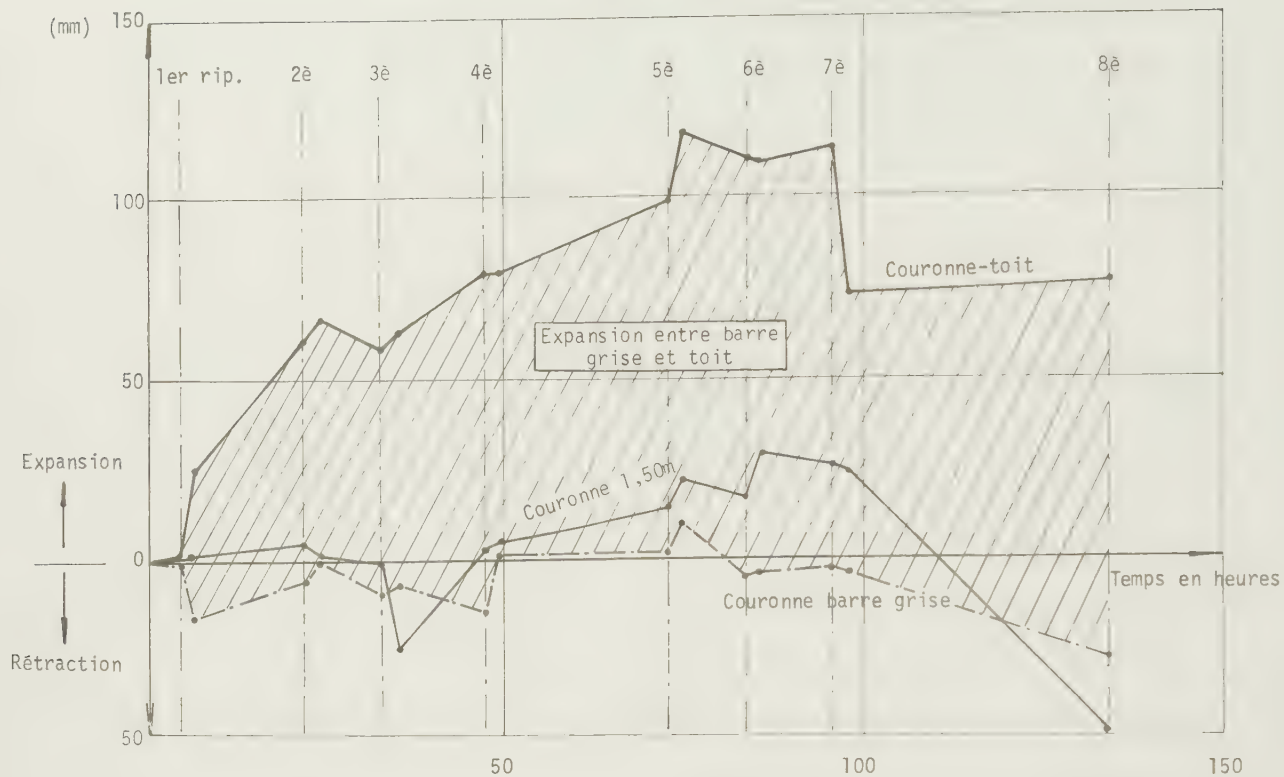
Notre étude de facteurs se bornera donc à quelques aspects essentiels.

1) Homogénéité de la couche

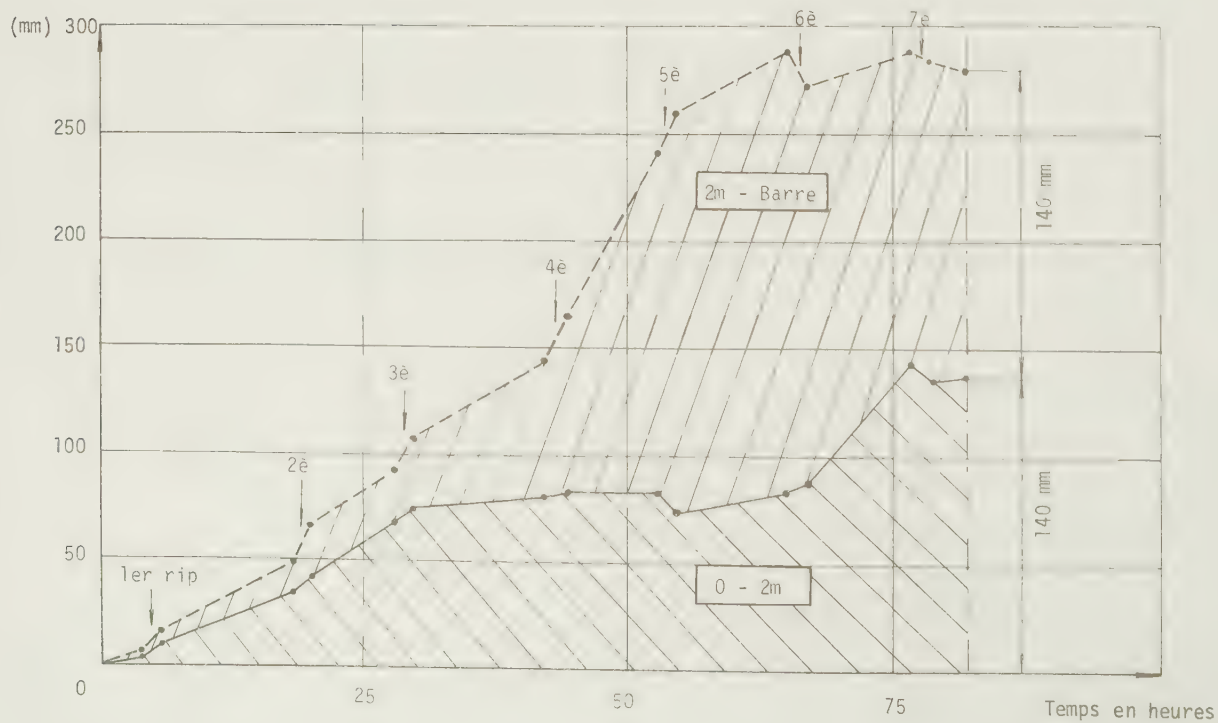
La structure de la couche présente dans le cas de la taille S3B à Rozelay, une particularité qui modifie assez considérablement le

EVOLUTION MOYENNE DE L'EXPANSION VERTICALE MESUREE A 1,50m
A LA BARRE GRISE ET AU VRAI TOIT
HBCM - BLANZY - ROZELAY - 2^èC - TAILLE S3b

FIG. 60



EVOLUTION MOYENNE DES DEFORMATIONS A 45°
HBCM - BLANZY - ROZELAY - 2^è COUCHE - TAILLE S3b



comportement. Un intercalaire stérile (la barre grise) d'une épaisseur moyenne de 2,20 m est inclus dans la tranche de charbon en couronne à 2 m environ au-dessus des chapeaux.

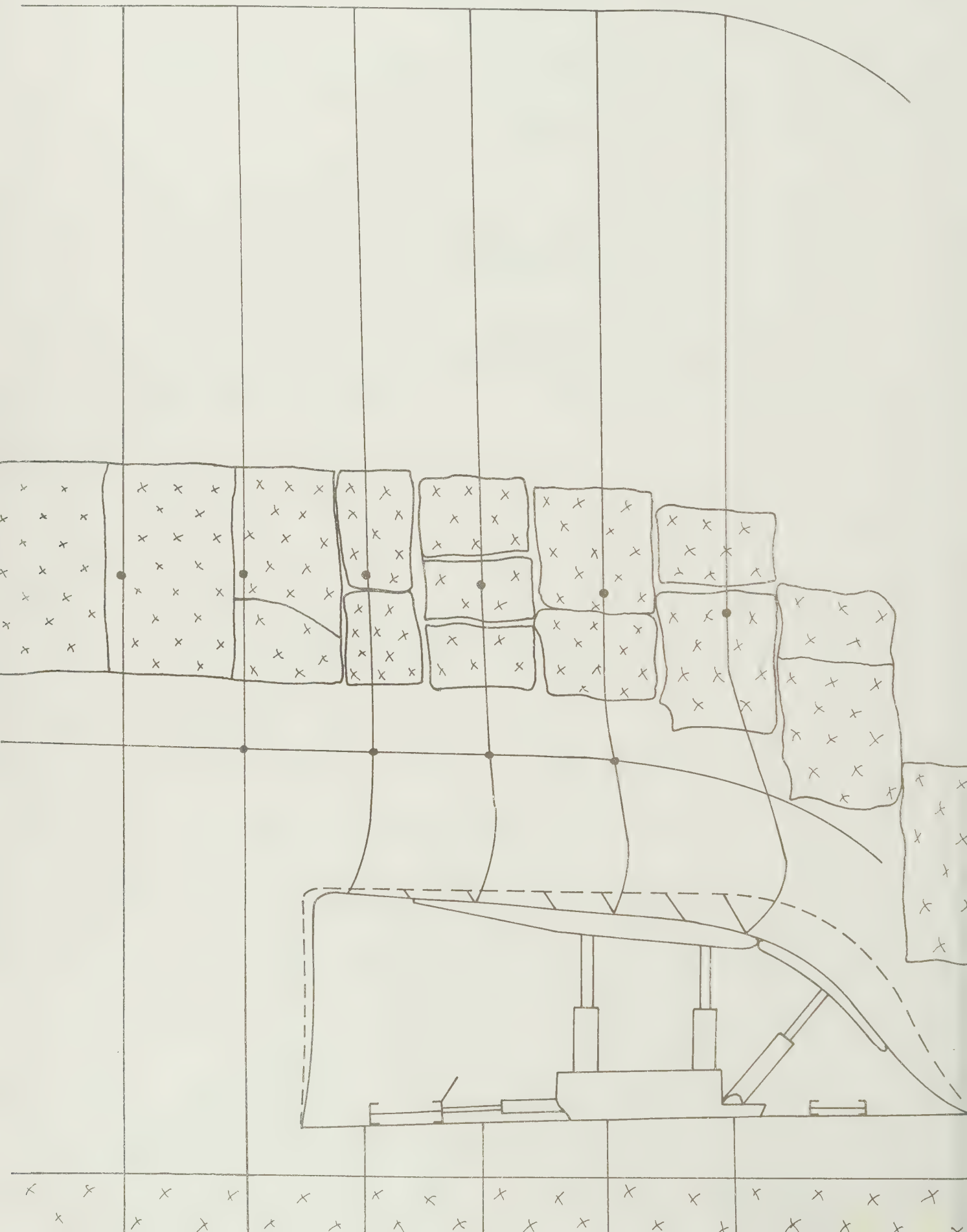
L'influence de cette barre est d'abord sensible au niveau des expansions verticales (figure 60). L'expansion entre la couronne et la barre est très faible et même le plus souvent négative, ce qu'on attribue au glissement vers le soutirage du banc de charbon situé juste au-dessous de la barre. Ce glissement finit par atteindre les bancs plus proches de la taille pendant les derniers cycles, comme le montre l'évolution de l'expansion entre 0 et 1,50 m qui devient négative à son tour.

D'autre part, sur les extensomètres à 45°, on constate qu'il y a expansion entre le bas de la couronne et les points d'ancrage dans la barre (contrairement au cas de la taille D où ces mesures sont négatives et traduisent le basculement de l'ensemble de la tranche soutirée vers le foudroyage). L'interprétation de ce résultat est importante. On admet que la barre grise participe peu au début au déplacement de la partie inférieure de la couronne. Quand l'expansion à 45° se stabilise (ce qui se produit lorsque le point d'ancrage arrive au niveau de la zone soutenue), on peut considérer que la barre commence à suivre le mouvement général vers l'arrière et se disloque à son tour.

Entre le vrai toit et la barre grise, l'expansion verticale est forte pendant les premiers cycles de taille. Elle est responsable pour l'essentiel de la convergence observée durant cette période. Sa stabilisation exprime l'accentuation de la descente du toit. Cet amortissement initial des mouvements du toit est sensible également en taille D et c'est un trait caractéristique de ce type de chantiers.

FIG. 61

RECONSTITUTION SCHEMATIQUE DES DEFORMATIONS DE LA COURONNE
DANS LE CAS DE LA PRESENCE D'UNE BARRE STERILE (ROZELAY - TAILLE S3b)



En tenant compte de toutes ces mesures d'expansion, nous avons établi une représentation schématique des déformations subies par la couche (figure 61) qui est à rapprocher de celle que nous avons proposé dans le cas général (figure 57).

En résumé, la barre grise sert d'armature à la tranche de charbon en couronne et en freine les déformations. Elle limite, par là même, l'étendue de la zone déconsolidée qui atteint ainsi 2 m de profondeur en avant du front de dépilage, contre 3,50 m en taille D. C'est un élément favorable à la tenue du front et de la couronne, mais cela nuit au soutirage.

D'une façon générale, les mouvements de terrains ont une ampleur moins grande que ne le laisserait penser la puissance totale de la couche, comme si la convergence était réduite dans la même proportion que l'épaisseur de charbon récupérée au soutirage.

C'est l'étude de ce facteur que nous allons aborder à présent.

2) Caractéristiques géométriques, soutènement

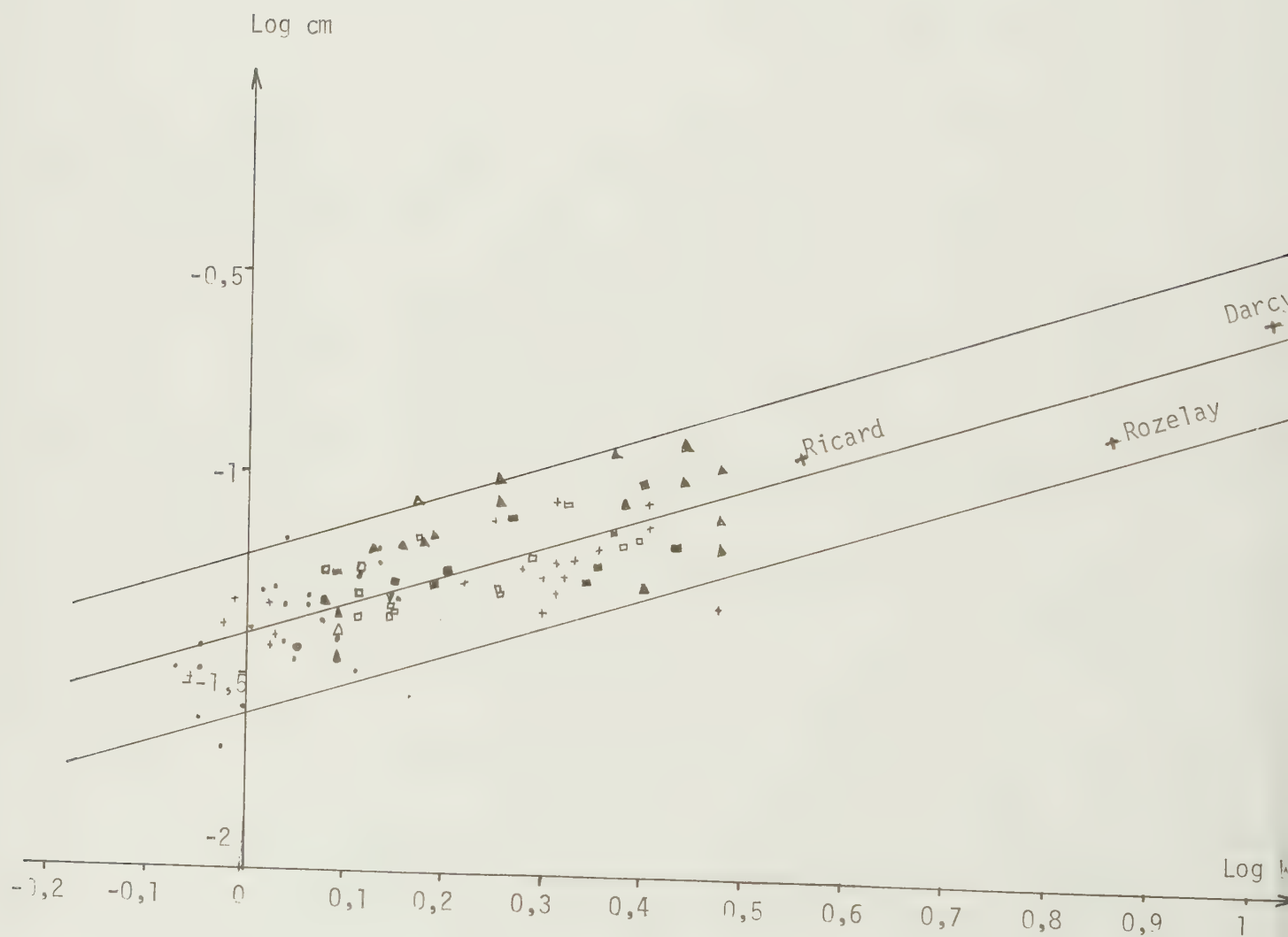
Les expérimentations conduites dans des couches de puissances inférieures à 3 m ont permis de relier l'ouverture exploitée à la convergence mesurée à l'aide d'une formule statistique

$$\begin{aligned} \log cm &= p \text{ Log } qW + k & /23/ \\ \text{avec } p &= 0,71 \end{aligned}$$

Comme le montre la figure 62, les mesures en couches épaisses restent dans le cadre de cette formule et respectent les limites de la dispersion issues des résultats précédents, en prenant pour W l'ouverture totale de la couche et pour q le taux de récupération (le produit qW représente alors le rapprochement final des épontes).

LOGARITHMES DES CONVERGENCES EN FONCTION DES
LOGARITHMES DES OUVERTURES.

FIG. 62



D'une façon générale, nous avons cherché à comparer nos points expérimentaux à la loi de prévision des convergences vérifiée pour les couches minces et qui réunit les influences de l'ouverture exploitée (W), de la profondeur (H) et du coefficient caractéristique du traitement de l'arrière taille q. La vitesse de convergence (en mm par mètre d'avancement) s'exprime

$$C_v = 200 (qW)^{3/4} \times H^{-1/4}$$

Le facteur $(qW)^{3/4}$ est en accord avec l'interprétation théorique qui consiste à schématiser le toit de la taille par une poutre mince élastique dont l'affaissement total dans l'arrière-taille est qW.

Quant au facteur $H^{-1/4}$, il se justifie en considérant les terrains au-dessus de la taille comme un empilement de feuillets parallèles à la stratification.

Nous avons rassemblé dans le tableau ci-dessous, pour les 3 campagnes, les étapes du calcul de la convergence géométrique $Cvg = 200 (qW)^{3/4} H^{-1/4}$.

	$H^{-1/4}$	qW	$(qW)^{3/4}$	Cvg	Cv obs.
Darcy	0,188	12,3 x 0,8	5,55	209	233
Rozelay	0,238	9,85 x 0,7	4,26	203	160
Ricard	0,186	4,5 x 0,8	2,61	97	131

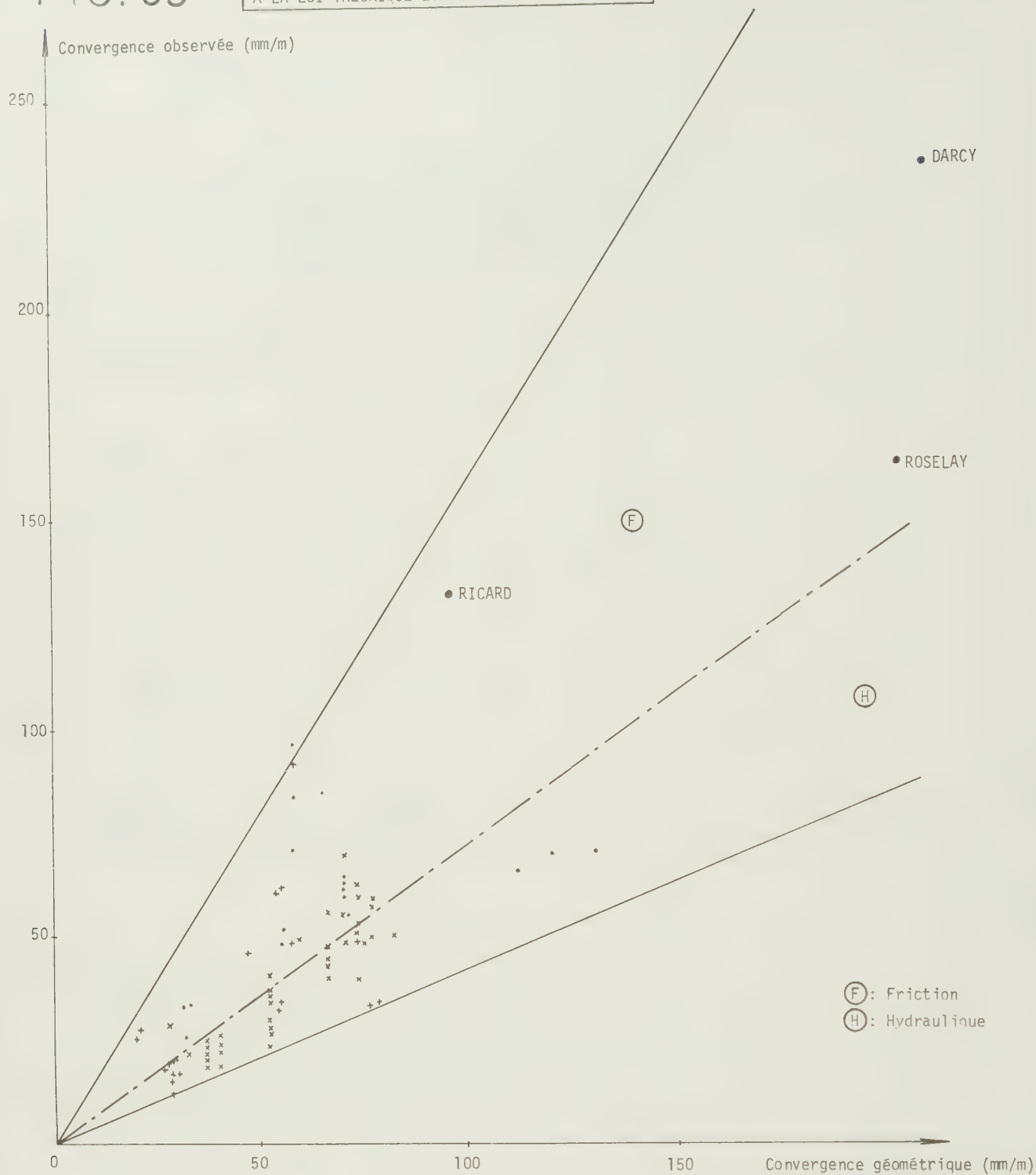
Nous avons ajouté ces résultats au graphique de la figure 63a qui rassemble toutes les convergences observées en fonction des convergences géométriques correspondant à chaque cas.

Nous pouvons considérer que la formule de prévision établie dans des tailles dont l'ouverture n'excédait pas 2,50 m, reste en première approximation valable dans des chantiers de 12 m d'ouverture,

FIG. 63

COMPARAISON DES CONVERGENCES OBSERVEES
A LA LOI THEORIQUE ETABLIE EN COUCHES MINCES

- a -



- b -



ce qui est en soi un fait expérimental remarquable.

Cependant, on note que les valeurs réelles sont toujours plus fortes que les valeurs théoriques sauf pour Rozelay.

L'origine de cette différence systématique mérite d'être analysée. Il semble qu'il faille incriminer le comportement de la masse de charbon en couronne. Ainsi, nous avons reporté les valeurs du rapport C_v observé/ c_{vg} sur le graphique qui représente son évolution en fonction de la portance (figure 63b).

On constate que les points obtenus s'écartent sensiblement de la courbe moyenne issue des résultats en couche mince et qu'ils sont systématiquement situés au-dessus. Autrement dit, le rôle de la portance pour le contrôle des mouvements du toit diverge de celui qu'on connaissait pour les tailles entre épontes.

En effet, la convergence théorique rend compte de la déformation du vrai toit puisque q_w représente le rapprochement total des épontes. Or, on mesure en réalité l'affaissement du toit de la taille.

De toutes façons, un point essentiel semble acquis en conclusion : la liaison entre la convergence en taille et l'affaissement final est respectée dans les couches puissantes. Parmi les facteurs influents, l'ouverture joue apparemment un rôle prépondérant.

La connaissance globale que nous avons désormais du comportement de ce type de chantiers doit nous permettre d'aborder les problèmes posés par leur exploitation.

II - APPLICATIONS AUX CONDITIONS D'EXPLOITATION

Les difficultés rencontrées dans les tailles en couches puissantes soutirées se ramènent en fin de compte à deux préoccupations essentielles :

- améliorer le soutirage
- mécaniser l'abattage.

Nous avons eu à plusieurs reprises l'occasion de souligner que ces deux aspects sont en partie contradictoires. D'un côté, la réussite du soutirage implique la désagrégation préalable du charbon mais, par ailleurs, la trop grande décohesion de la couronne est le principal obstacle au havage du front. Les facteurs qui favorisent la stabilité du front et de la couronne, entravent au contraire la récupération du soutirage (par exemple la présence de la barre grise à Rozelay).

Il est donc nécessaire d'élaborer des solutions qui respectent un équilibre entre ces deux impératifs opposés.

Ajoutons que cette opposition est d'autant plus marquée que l'échelle des phénomènes est grande, et en particulier que la puissance de la couche est importante.

1) Conditions du soutirage

Le souci d'améliorer le soutirage qui constitue la raison d'être de la méthode est un objectif prioritaire. Quelques règles simples donnent de bons résultats.

C'est ainsi qu'à cause des très forts mouvements horizontaux vers l'arrière, le contrôle du soutirage est facilité par un front descendant. Une exploitation montante fait courir le risque d'un basculement brutal de larges pans de couronne dans le foudroyage

et d'un envahissement de la taille par les terrains. Cette précaution est mise en pratique aussi systématiquement que possible.

Nous avons également insisté sur l'intérêt pour le soutirage de la déconsolidation du charbon, causée par les surpressions en avant du front. Un alignement de la taille aussi rigoureux que possible assure une répartition régulière des pressions de terrains et donc une bonne récupération du charbon sur tout le front de soutirage.

La vitesse d'avancement doit être elle aussi régulière et ajustée pour obtenir un rendement optimal :

o Si elle est trop rapide, la déconsolidation n'aura pas le temps d'atteindre l'ensemble de la couronne, ce qui provoquera une perte de récupération

o Si elle est trop lente, au contraire, le soutirage ne pourra pas devancer suffisamment le mouvement du vrai toit, pour éviter le mélange du charbon et des terrains ; de plus, dans ce dernier cas, la déconsolidation risque d'aller trop loin en avant, ce qui aggraverait encore les conditions de tenue du front d'abattage (1).

A ce propos, il est souhaitable de choisir une largeur de taille suffisamment grande pour que les deux fronts soient bien distincts, sans dépasser toutefois la limite qui provoquerait une charge excessive sur le soutènement.

L'optimisation de la vitesse d'avancement nécessiterait des essais répétés car elle dépend des conditions particulières de chaque chantiers (ouverture, profondeur...). Il serait, en tout état de cause, bénéfique de dépasser les vitesses actuellement usitées (de l'ordre de 1 m/jour).

(1) La vitesse d'avancement est de toutes façons limitée inférieurement par les problèmes d'échauffement.

C'est pourquoi le besoin de mécaniser l'abattage se fait sentir avec acuité.

2) Le front d'abattage

La condition première à la mécanisation de l'abattage est la consolidation du front et de la couronne.

Cet objectif a suscité des essais de renforcement par injection de résines synthétiques.

En fait, ce procédé permet surtout la constitution d'une croûte superficielle plus résistante. Etant donné l'étendue de la zone fissurée, on ne peut pas envisager de la renforcer toute entière sans mettre en oeuvre des quantités prohibitives de produits et aussi sans porter préjudice au soutirage ultérieur. D'une façon générale, cette technique est couteuse et délicate dès qu'il s'agit de l'utiliser systématiquement sur toute la longueur du front et son efficacité n'est pas garantie (1).

Signalons aussi des essais de brochage de la couronne à la résine expansée dont les résultats ne sont pas encore connus.

La persistance des difficultés a orienté les recherches vers l'adaptation d'un soutènement marchant pour les chantiers à soutirage.

On peut définir les qualités requises pour un tel soutènement à partir de la connaissance du mécanisme de déformations.

(1) Depuis quelques années, plusieurs essais ont été effectués (notamment dans la Loire en 1972) ou sont actuellement en cours (à Blanzay). En Aquitaine, ce procédé est utilisé avec succès pour renforcer le front localement et conjoncturellement dès que des indices de dégradations apparaissent.

L'objectif est d'accélérer l'avancement de façon à "prendre de vitesse" la déconsolidation totale qui suit le front de soutirage. Cette condition impose un soutènement décalé (c'est-à-dire dont les chapeaux peuvent être avancés un à un aussitôt après le havage) de façon à limiter le retard au boisage.

Des chapeaux jointifs sont également nécessaires pour éviter la pose du grillage (longue et couteuse) tout en maintenant au mieux la couronne.

Par ailleurs, nous avons montré qu'une forte portance ne permettait pas de réduire sensiblement les déformations ni de limiter la dégradation. Les rendements observés sur les vérins sont dans l'ensemble assez médiocres et on ne peut pas compter sur la portance au coulisement (rarement atteinte) pour contrôler les mouvements. Ces considérations impliquent de ne pas donner une valeur trop grande à la charge de pose (de l'ordre de 50 T/m² au plus) et de fixer une charge de coulisement voisine de la charge de pose.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que l'augmentation de la vitesse d'avancement à l'abattage n'est possible que si le soutirage est capable de suivre le même rythme. La mécanisation de l'abattage conduit donc à mécaniser le soutirage à son tour (1).

Il est significatif qu'on retrouve là, les liens contradictoires entre abattage et soutirage qui sont au centre de toutes les difficultés et qui rendent délicate l'amélioration des conditions d'exploitation.

(1) Le service technique des Charbonnages de France a élaboré un type de soutènement répondant à l'ensemble des qualités énoncées ci-dessus et doté à l'arrière d'un bouclier continu, articulé par les "bananes" et sous lequel circulerait un rabet permettant de charger sur le deuxième convoyeur le charbon soutiré. Il est prévu également un système de maintien du front à l'avant /9/.

III - CONCLUSION

Le mécanisme de déformations des couches puissantes soutirées est désormais mieux connu.

Nous savons qu'il obéit globalement aux lois de prévision des déformations établies en couches minces, quelle que soit l'importance de la tranche défilée par rapport à la tranche soutirée. En particulier, les convergences sont liées de manière identique au rapprochement final des épontes.

Mais, dans le détail du mécanisme, on s'aperçoit que les caractéristiques de la tranche soutirée ont une influence décisive. Ainsi, nous avons observé des régimes de déformations de la couronne très différents suivant son épaisseur ou suivant qu'elle était ou non armée par un intercalaire stérile.

Les conséquences sont importantes pour l'amélioration des conditions d'exploitation : le soutirage est en effet favorisé par une couronne très déconsolidée et prête à se foudroyer dans l'arrière-taille alors que ces mêmes facteurs sont préjudiciables à la mécanisation de l'abattage.

Toutes les solutions envisagées : optimisation de la vitesse d'avancement, renforcement du front et de la couronne, adaptation d'un soutènement marchant etc... doivent tenir compte de ces impératifs contradictoires.

En outre, un certain nombre de contraintes, notamment économiques, que nous n'avons pas prises en compte, constituent pourtant des éléments d'appréciation tout aussi décisifs que les considérations sur les pressions de terrains.

Nous n'avons donc fait que tirer le maximum de conséquences des expérimentations, sans prétendre en aucun cas résoudre définitivement ces difficiles problèmes.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Les deux principaux objectifs que nous nous étions fixés dans le cadre de l'étude de la mécanique des terrains dans les couches puissantes des charbonnages étaient les suivants :

- Etude du mécanisme de déformation des voies au charbon et application au problème du maintien de ces mêmes voies ouvertes.
- Etude du mécanisme de déformation des tailles à soutirage intégral avec comme application : contrôle et amélioration de la tenue des tailles en vue de leur mécanisation.

Les moyens mis en oeuvre pour cette étude étaient inspirés de ceux habituellement utilisés en couches minces et d'une façon générale, nous nous sommes appuyés sur l'expérience et les résultats acquis antérieurement dans les chantiers classiques : galeries en couches minces et tailles entre épontes.

Au total, on a pu étudier vingt voies au charbon dont quinze desservant des tailles à soutirage et cinq dans des exploitations par tranches descendantes. Par ailleurs, trois campagnes de mesures ont été menées dans les tailles soutirées.

Résumé des principaux résultats

La caractéristique commune à tous les résultats des mesures dans ces chantiers est l'amplitude considérable des déformations (plusieurs mètres de convergence dans les voies de 50 cm à 1 m dans les tailles). De ce fait, le comportement des terrains échappe aux théories classiques reposant sur des modèles de comportement de type

élastique. On considère que le massif de charbon autour des ouvrages tend vers la pulvérulence.

Mais, malgré ce point commun, le mécanisme fondamental des déformations est très différent en voies et en tailles.

Dans les voies, le creusement provoque la détente des terrains environnants.

Rapidement, s'établit un régime permanent de l'évolution des mouvements caractérisé par une vitesse de convergence sensiblement constante. Les effets de la détente (et en particulier l'expansion du charbon entourant la voie) gagnent progressivement en profondeur. L'extension de la gaine pulvérulente autour de la voie et son augmentation de volume sont à l'origine de la croissance continue des convergences.

Nous avons proposé de décrire ce processus de développement de l'expansion à l'aide d'une expression mathématique qui permet de mieux quantifier le phénomène et d'expliquer les différents types d'évolution observés en régime permanent. Plus précisément, on peut rendre compte du comportement des voies creusées dans un charbon déjà déconsolidé par une exploitation antérieure ou encore expliquer les accélérations brutales et durables de la convergence par l'effet du réajustement du toit de la couche atteint à son tour par la déconsolidation.

L'approche du front de taille impose des surcontraintes sur les voies à partir d'une centaine de mètres en avant du front et le surcroît de déformations correspondant se superpose au régime permanent. Durant cette phase, les vitesses de convergence sont croissantes.

Les facteurs dont l'influence est bien connue en couches minces passent le plus souvent au second ordre, surtout à grande profondeur et sous l'influence d'une taille à soutirage. L'élément déterminant pour le comportement est finalement la résistance mécanique des terrains contenus dans une gaine d'une dizaine de mètres de diamètre

entourant la voie. Ainsi, les déformations sont elles d'autant plus fortes que cette gaine contient une grande quantité de charbon, ce qui est le cas quand la couche est très puissante.

Les tailles sont entourées comme les voies par un charbon pulvéulent qui est le siège de très fortes déformations. Ce phénomène a pour origine l'ampleur des surpressions subies par le massif à l'approche des travaux de dépilage : le front d'abattage atteint un charbon préfissuré qui se désagrège totalement au soutirage. Le mécanisme est marqué par un mouvement de glissement très important vers l'arrière de l'ensemble de la couche. Ce déplacement est rendu possible par la déconsolidation du charbon, qui se désolidarise du vrai toit et qui est soumis à la détente provoquée d'abord par l'enlèvement de la tranche au mur (abattage) ensuite par l'enlèvement de la tranche en couronne (soutirage).

Le comportement de la planche de charbon soutirée se trouve à l'origine de la plupart des difficultés rencontrées.

En effet, si sa désagrégation facilite le soutirage, elle est au contraire un facteur d'instabilité du front et de la couronne, c'est-à-dire le principal obstacle à la mécanisation.

Par ailleurs, sa présence permet de retarder au-dessus de la taille l'affaissement du toit de la couche (apparemment quelle que soit son épaisseur) mais dans le même temps le soutènement est relativement impuissant à en contrôler les déformations.

Le régime des déformations qui affectent cette planche de charbon en couronne est lié à ses dimensions et aussi à sa nature géologique. Elle est soumise à un basculement vers l'arrière-taille quand sa hauteur est d'une dizaine de mètres, alors qu'elle est beaucoup plus stable quand sa hauteur n'est que de quelques mètres. D'autre part, on a pu constater qu'une barre stérile résistante constituait une armature efficace.

D'une façon générale, la puissance de la couche paraît être le facteur principal agissant sur le comportement. Elle détermine l'amplitude globale de tous les mouvements. On a vérifié en particulier que la convergence était liée suivant la même loi qu'en couches minces au rapprochement final des épontes après l'exploitation.

Applications

La connaissance du mécanisme et de l'influence de quelques facteurs a permis de répondre à plusieurs questions pratiques concernant l'amélioration des conditions d'exploitation.

Ainsi la position des voies est un élément important.

Nous avons vu qu'il était préférable de creuser les voies aussi près que possible des anciennes exploitations et qu'il était déconseillé d'abandonner un pilier d'une dizaine de mètres le long de la voie.

En revanche, l'effet d'un pilier perpendiculaire aux voies progressivement dépilé par la taille, a été pratiquement inexistant.

L'influence des exploitations antérieures sus-jacentes est sans doute qualitativement identique à celle des couches minces mais elle est en partie effacée par l'ampleur des déformations.

En ce qui concerne la situation de la voie dans la couche, nous avons montré que la présence d'une planche de charbon d'un à deux mètres entre la voie et le mur de la couche était avantageuse en ce sens qu'elle n'augmentait pas sensiblement les déformations et qu'elle facilitait l'entretien. Signalons que ce résultat est établi dans les conditions d'un mur assez tendre.

Dans le cas des voies creusées en vierge, il faut s'attendre à une accélération des convergences quatre à six mois après le creusement. Il est donc intéressant de limiter la durée de vie de la voie de façon à éviter cette phase.

Les essais de soutènement n'ont pas permis de dégager une solution efficace aux problèmes posés, les sollicitations dépassant souvent la limite de résistance admise par le matériel. En outre, la plus grande partie des convergences provient du mur, qui est la partie dégarnie de soutènement. Cependant, un certain nombre d'essais n'ont pas été réalisés, notamment le renforcement du soutènement par un boulonnage ponctuel, ancré dans une zone assez profonde pour être atteinte le plus tard possible par la déconsolidation.

Les solutions susceptibles de faciliter la tenue des ouvrages de façon radicale, se ramènent en fin de compte à des préoccupations identiques en voies et en tailles.

1) On peut envisager de renforcer artificiellement les caractéristiques mécaniques du charbon fissuré, par exemple à l'aide d'injections de résine synthétique. Mais ce procédé n'a pas été étudié très systématiquement, ses inconvénients sont nombreux et son efficacité encore incertaine.

2) Une autre idée consiste à tenter de prendre de vitesse l'évolution de la déconsolidation.

Dans les voies, il est impératif de limiter au maximum la durée de vie des chantiers et en particulier de réduire (voire d'éliminer) la phase du régime permanent qui suit le creusement et précède le passage de la taille.

Dans le cadre des méthodes actuelles d'exploitation, cela implique l'installation d'une infrastructure au rocher qui, en relayant la voie, permet de la creuser le plus tard possible.

Dans les tailles, une augmentation dosée de la vitesse d'avancement devrait permettre de devancer la déconsolidation de la couronne et du front d'abattage, sans porter préjudice au soutirage. De plus, une telle accélération permettrait, en retour, de réduire la durée de vie des voies.

Mais on rejoint ici le problème posé initialement, puisque un avancement plus rapide exige une mécanisation plus poussée de l'exploitation, précisément entravée par l'ampleur des déformations. Il semble qu'on doive s'orienter vers une adaptation du soutènement marchant, assortie d'une mécanisation non seulement de l'abattage mais aussi du soutirage.

Perspectives de recherche

Cette première étude menée sur le comportement spécifique des ouvrages en couches puissantes est loin d'être exhaustive. Il serait souhaitable de prolonger les recherches dans plusieurs directions.

Tout d'abord l'interprétation que nous avons donnée pour les mécanismes de déformations en voies et en tailles demande à être complétée.

En voies, la loi proposée pour décrire la répartition des expansions est satisfaisante dans la mesure où elle conduit par le calcul à des résultats concordant avec l'expérimentation. Mais il faut reconnaître qu'elle présente des insuffisances fondamentales. En particulier, nous n'avons pu rendre compte à aucun moment de l'état des contraintes dans le massif (amplitude, répartition etc...). D'autre part, les paramètres nouveaux que nous avons introduits (λ et m) ont le défaut de dépendre des conditions initiales (et plus précisément de l'état de déconsolidation initiale du charbon). Ils sont de plus susceptibles de varier au cours des différentes phases de la vie de la voie (c'est le cas notamment lors de la réactivation

des convergences sous l'effet présumé de l'affaissement du toit de la couche). Ces paramètres ne peuvent donc être vraiment considérés comme des grandeurs caractéristiques d'une nature de matériau donnée comme celles qui interviennent dans une loi de comportement.

A ce stade de la recherche, le besoin se fait donc sentir de connaître la loi de comportement global du charbon, faisant intervenir les relations entre contraintes et déformations.

En ce qui concerne les expansions, nous avons pu montrer combien leur étude systématique pouvait être riche d'enseignements. Cependant, quelques expérimentations complémentaires permettraient de préciser utilement certains aspects quantitatifs du mécanisme. Il serait bon notamment de multiplier les mesures d'expansion à différents niveaux et plus particulièrement de suivre leur évolution en détail après une remise à section. Ajoutons qu'il faudrait sans doute alors imaginer des dispositifs moins lourds et mieux adaptés que ceux que nous avons utilisés.

En tailles, il est clair que trois campagnes seulement, menées dans des conditions aussi différentes, ne permettent pas de donner du mécanisme de déformations une interprétation très générale. Il serait bon de compléter nos connaissances par des mesures effectuées par exemple à l'occasion d'essais de matériels.

Dans tous les cas, nous avons signalé que l'influence d'un petit nombre de facteurs avait pu être étudiée. En particulier, l'étude des facteurs naturels nous a, pour des raisons diverses, souvent fait défaut. Il en est ainsi de la profondeur, de la tectonique mais surtout des variations de caractéristiques mécaniques des terrains et plus précisément du charbon.

D'une façon générale, il serait sans doute intéressant de s'orienter vers une étude plus systématique du comportement mécanique du charbon et notamment du charbon fissuré.

En comblant ces diverses lacunes, il serait possible d'avancer beaucoup plus loin dans un domaine où nous sommes restés très qualitatifs, celui de la prévision des déformations à attendre dans un chantier, ce qui permettrait de guider les choix stratégiques de l'exploitant.

Cependant, ces propositions de recherche se situent à plus ou moins longs termes. Dans l'immédiat, et pour revenir aux objectifs initialement fixés, il serait utile de développer une politique d'essais systématisée et coordonnée. De cette politique dépendra une meilleure connaissance de l'action des produits d'injection et aussi des différents matériels introduits en taille (soutènement, soutirage mécanisé etc...)

Enfin, nous avons eu l'occasion de soulever une dernière question qui est celle de l'aspect économique des problèmes. Dans l'ensemble, les solutions aux difficultés des chantiers en couches puissantes sont complexes et onéreuses et aucun choix ne peut être fait en s'appuyant uniquement sur les résultats d'une étude de pressions de terrains, sans être assorti de considérations sur le coût des modifications envisagées.

Certains des points que nous avons développés mériteraient d'être complétés dans ce sens.

BIBLIOGRAPHIE

/1/ PAUC P.

L'exploitation des couches puissantes dans les Charbonnages à travers les communications au Congrès du Centenaire de l'Industrie Minérale (Journées d'études sur les couches puissantes)
R.I.M. numéro spécial avril 1956.

/2/ HOUILLERES DE LA LOIRE

Sub level à la fendue St-Thomas (prix régional de productivité)
Documents techniques 12.54 et R.I.M. (Octobre 1953).

/3/ MORIN R. et GUGLIELMI M.

Sub level en longues tailles (Cévennes)
R.I.M. numéro spécial Avril 1956.

/4/ HOUILLERES DE BLANZY

Soutirage en couches puissantes dans le quartier 2ème couche Nord du siège de Darcy (prix de productivité)
Documents techniques 11.67 et R.I.M. Novembre 67.

/5/ DAVID H.

L'exploitation par soutirage aux Houillères du bassin de Blanzay
Documents techniques C.D.F. 1968 n° 1.

/6/ SCHWEITZER R. et TAURINYA H.

Méthodes d'exploitation par soutirage dans les couches puissantes des Houillères du Bassin du Centre Midi
C.D.F. Service technique (Juillet 1970).

/7/ GANIER M.

Infusion en veines puissantes
Journées d'informations "lutte technique contre les poussières
dans les Mines", 11, 12, 13 octobre 1972 Luxembourg.

/8/ HOUILLERES DE BLANZY

Description d'un quartier classique à soutirage
C.D.F. Documents techniques n° 2 1973

/9/ ADAM R.

Les problèmes de mécanisation des tailles à soutirage
C.D.F. Services techniques (février 1973)

/10/ INSTITUT DES MINES A.A. SKOCINSKIJ

Perfectionnement de la technique et des moyens de mécanisation
totale pour l'exploitation des couches puissantes en plateure
sur toute la puissance de la couche avec dépilage de la tranche
au toit et formation minimale de poussières
Moscou 1971 traduction CERCHAR n° 474 T 71

/11/ INSTITUT DES MINES SKOCINSKIJ

Communication sur l'état actuel et les perspectives des travaux
de recherche dans le domaine du dépilage des couches puissantes
Moscou 1969 - Traduction CERCHAR 480-69.

/12/ HOUILLERES D'AQUITAINE

Exploitation par chambres avec soutirage au siège de Cagnac
(quartier PC3)
R.I.M. Février 1973

/13/ FRANCES P.

Evolution des méthodes d'exploitation dans le bassin du Dauphiné
C.D.F. Documents techniques 1968 n° 1.

/14/ SCHWARTZ B.

Déformation des roches autour des excavations
Thèse, Paris 1958

/15/ SCHWARTZ B.

Etude des mouvements des épontes dans les exploitations
minières
R.I.M. Mai et Juin 1960

/16/ SCHWARTZ B., CAPELA R., DUBOIS R.

Mouvements des épontes dans les traçages en vierge
R.I.M. Février 1956

/17/ SCHWARTZ B., CHAMBON C., DECOMPS J., VIALLET F.

Prévision des convergences dans les voies influencées par
les tailles qu'elles desservent
R.I.M. Septembre 1962

/18/ RAFFOUX JF.

Etude des déformations des terrains dans les voies soumises
à l'influence de la première taille qu'elles desservent
Thèse, Nancy 1967

/19/ APPERT N.

Etude des déformations des voies soumises à l'influence des
deux tailles qu'elles desservent
Thèse, Nancy 1967

/20/ HAHN H. et JACOBI O.

Premier aperçu donnant la situation des galeries de tailles
avec abattage unilatéral
Publications techniques CERCHAR traduction n° 238 T 71

/21/ EL ASHKAR R.

Comportement et rôle des appuis dans les voies de taille
Thèse, Nancy 1973

/22/ JOSIEN JP.

Contrôle des terrains dans l'exploitation par taille
Thèse, Nancy 1974

/23/ CHAMBON C.

Mécanique des terrains houillers dans le cas de déformations planes
Thèse, Nancy 1966

/24/ SCHWARTZ B.

Campagne de mesures en voies (phase creusement) HB Loire
Exploitation Couriot, descente aval-132, 13è Michon
Rapport interne CERCHAR Ecole des Mines de Nancy 1959

/25/ SCHWARTZ B.

Influence du passage d'une taille sur sa voie de tête
exploitation Roche, voie de 13è Gruner (Loire)
Rapport interne CERCHAR Ecole des Mines de Nancy 1958

/26/ RAFFOUX JF.

Etude des déformations des voies de desserte des tailles en couches épaisses et pentées. Méthode d'exploitation Bourbaki
Documents techniques CERCHAR 7176 251/27 (novembre 71)

/27/ DUBART J CH. et JOSIEN JP.

Comportement du soutènement marchant
C.D.F. publications techniques 1 - 1972

/28/ MORLIER P.J.

Etude expérimentale de la déformation des roches
Thèse, Paris 1964

/29/ BENECH M. et DEJEAN M.

Rapport sur les mesures de mouvements de terrains faites au siège Darcy (H.B. Blanzy) dans les panneaux I et C,D
Rapport interne CERCHAR Ecole des Mines de Nancy 1971

/30/ AURIOL P.

Comportement d'une voie au charbon en couche épaisse du quartier 420 de Montrambert (Loire)
C.D.F. services techniques Février 1971

/31/ COEUILLET R.

Le soutènement en galeries et la mécanique des roches
Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux
publics (Mai 1958)
Journées de la mécanique des roches

/32/ CAQUOT A. et KERISEL J.

Traité de Mécanique des sols
Editions Gauthier Villars 1966

/33/ DUBART J. CH.

Campagne de Mécanique des terrains en veine puissante
exploitée par soutirage (siège Darcy, H.B. Blanzey)
Rapport CERCHAR Juin 1972

/34/ DUBART J CH.

Campagnes de mesures de la taille S3B
Rapport CERCHAR Janvier 1973

/35/ DUBART J CH. et VETTER P.

Comportement des terrains en couche semi-puissante
soutirée (siège Ricard, H.B. Cévennes)
Rapport CERCHAR Mai 1973

